Duplicado

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 205-Outubro-1950

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 - 2829 — 2830 - Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LUGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia **"CIMENTO TEJO"**

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
205
Outubro — 1950

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
LUÍS DA CUNHA FERRAZ

ADMINISTRADOR
MANUEL AGUDO MARQUES MAIA

CORPO REDACTORIAL
AURÉLIO GALHARDO COELHO
ROGÉRIO DA TRINDADE E LIMA

NÚMERO AVULSO 9$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

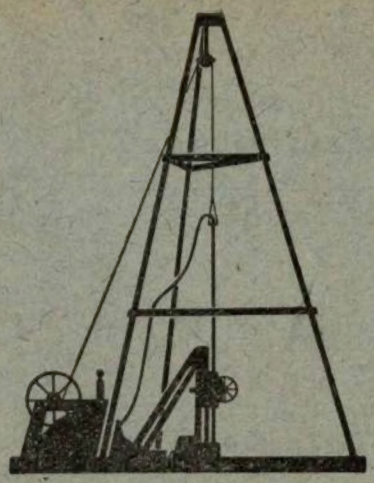
SUMÁRIO

CAPA — Ponte do Vale da Ursa sobre o Rio Zêzere

		Págs.
Palavras de Introito das Lições de Caminhos de Ferro (1949-50)	Prof. Engenheiro Francisco de Paula Leite Pinto	1
Le Trias Salifère au Portugal	Marius Dalloni	7
Síntese do amoníaco	Eng.º Henrique Marques Pereira	13
L'écluse sans consommation d'eau	L. Rothmund	27
Defesa antisísmica	Abel Cardoso	36
Nota sobre a decomposição do caolino sob a acção do calor	Dr. Arthur de Sousa	39
Curso sobre o emprego da cortiça nos isolamentos térmicos e fónicos	Eng.º Alfredo B. de Andrade	42
A Mecânica do Solo e suas aplicações — Corrigenda		50
Biblioteca		54

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

SONDAGENS RODIO, Limitada



RODIO

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «cement gun»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

CIMENTOS PORTLAND BRANCOS

PATAIAS **LUSO**

Bons entre os melhores

PARA ACABAMENTOS

PEDRA ARTIFICIAL E MOSAICOS

TRABALHOS MARÍTIMOS

PISTAS E FAIXAS DE ROLAGEM

OBRAS DE RESPONSABILIDADE

Rua Vitor Cordon 1, 2.º — LISBOA

TELEFONES 30765 / 2 linhas

WILD

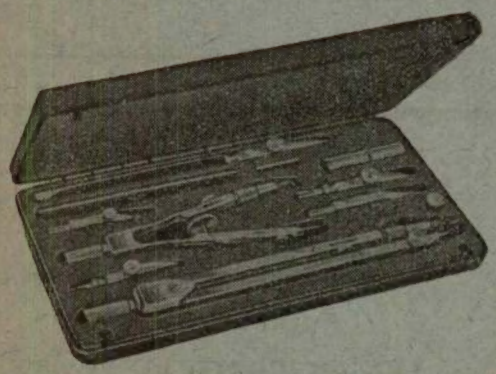
NOVAS CONSTRUÇÕES

INSTRUMENTOS PARA DESENHO DE AÇO INOXIDÁVEL

Máxima precisão. Duração ilimitada.

MICROSCÓPIOS E LUPAS

Concepção moderna. Todos os tipos e categorias.



A marca característica abaixo é garantia de excelência de fabrico

BREVEMENTE NO MERCADO PORTUGUÊS • ACEITAM-SE ENCOMENDAS

Catálogos descritivos ilustrados ao dispor de todos os interessados

Representantes exclusivos para Portugal e Colónias:

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

RUA EUGÉNIO DOS SANTOS, 75 — LISBOA

TELEF. 24314/15 TELEGRAMAS TECNA

WILD HEERBRUGG

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

CONTRA A HUMIDADE

FABRICA EM SACAVÉM

TELEFONES { 4 2651 / 4 2156 TELEG. EPALDA—LISBOA

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

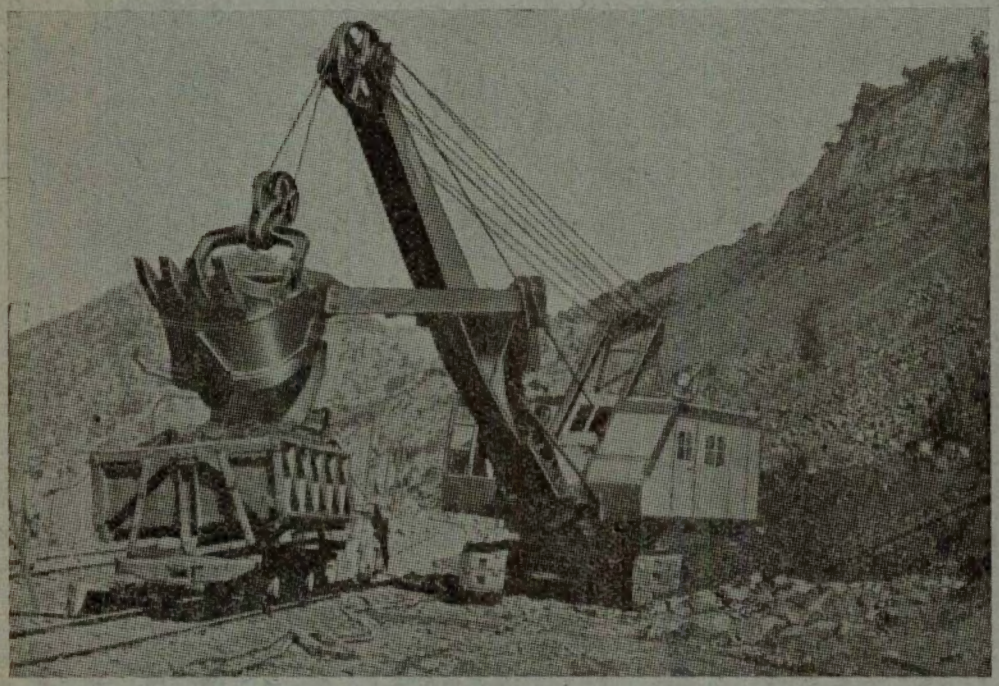
Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º—LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º—PORTO

Agentes em todo o País

RUSTON BUCYRUS LIMITED

ESCAVADORAS — SONDAS



ESCAVADORAS:

Capacidades 3/8 a 3 1/2 jardas cúbicas

SONDAS:

Para furos de 4" a 16" até à profundidade de 300 metros

REPRESENTANTE EXCLUSIVO:

MONTEIRO GOMES, L.DA

RUA CASCAES, 47 (ALCANTARA) — LISBOA

FORNOS ELÉCTRICOS PARA TRATAMENTOS TÉRMICOS

Os fornos BIRLEC são usados extensivamente nas importantes indústrias de máquinas e metais em todo o mundo, permitindo um tratamento térmico preciso, uniforme e económico, incluindo: —

Temperar e revenir ferramentas e peças na grande produção.
Recozer chapas, fita, arame, etc., sem oxidação.
Tratamento de alumínio e ligas leves.
Cementar por carburização, cianidização e nitrificação.
Soldar cobre e prata.
Tratamento térmico de lingotes não-ferrosos para laminagem e extrusão.
Aquecimento por indução a alta frequência para todos os fins.

Fornos especiais, tipo transportador para grandes produções

BIRLEC LIMITED

Agentes:

AHLERS, LINDLEY, L.DA

Rua do Ferregial de Baixo, 33-2.º — LISBOA

Telef. 21321/4

Agentes para os fornos eléctricos de fundição:

GENERAL ELECTRIC PORTUGUESA, S. A. R. L.

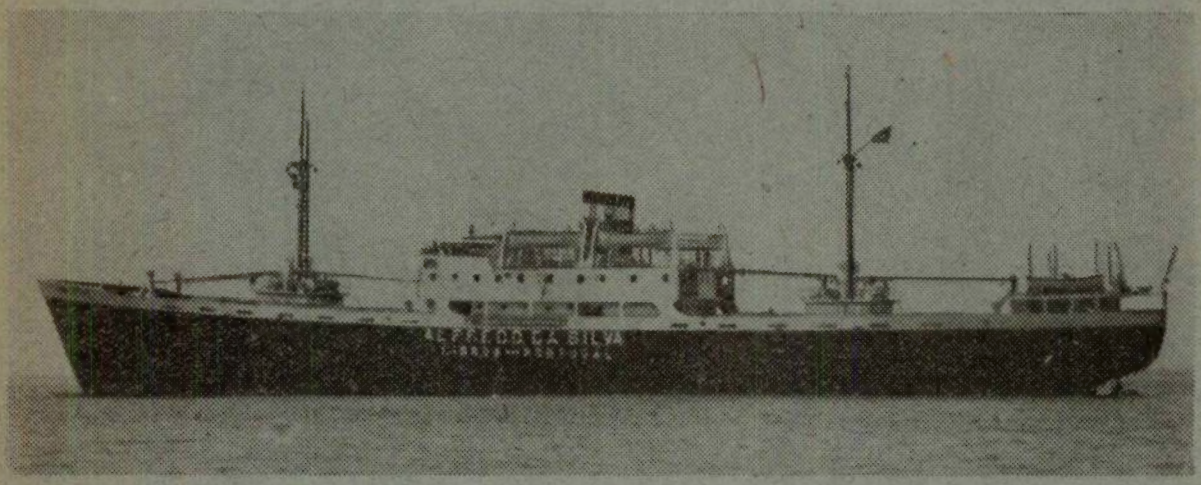
Rua do Norte, 5 — LISBOA

Telef. 28135/6

MOTORES DIESEL

POLAR—NOHAB

Para usos Terrestres e Marítimos



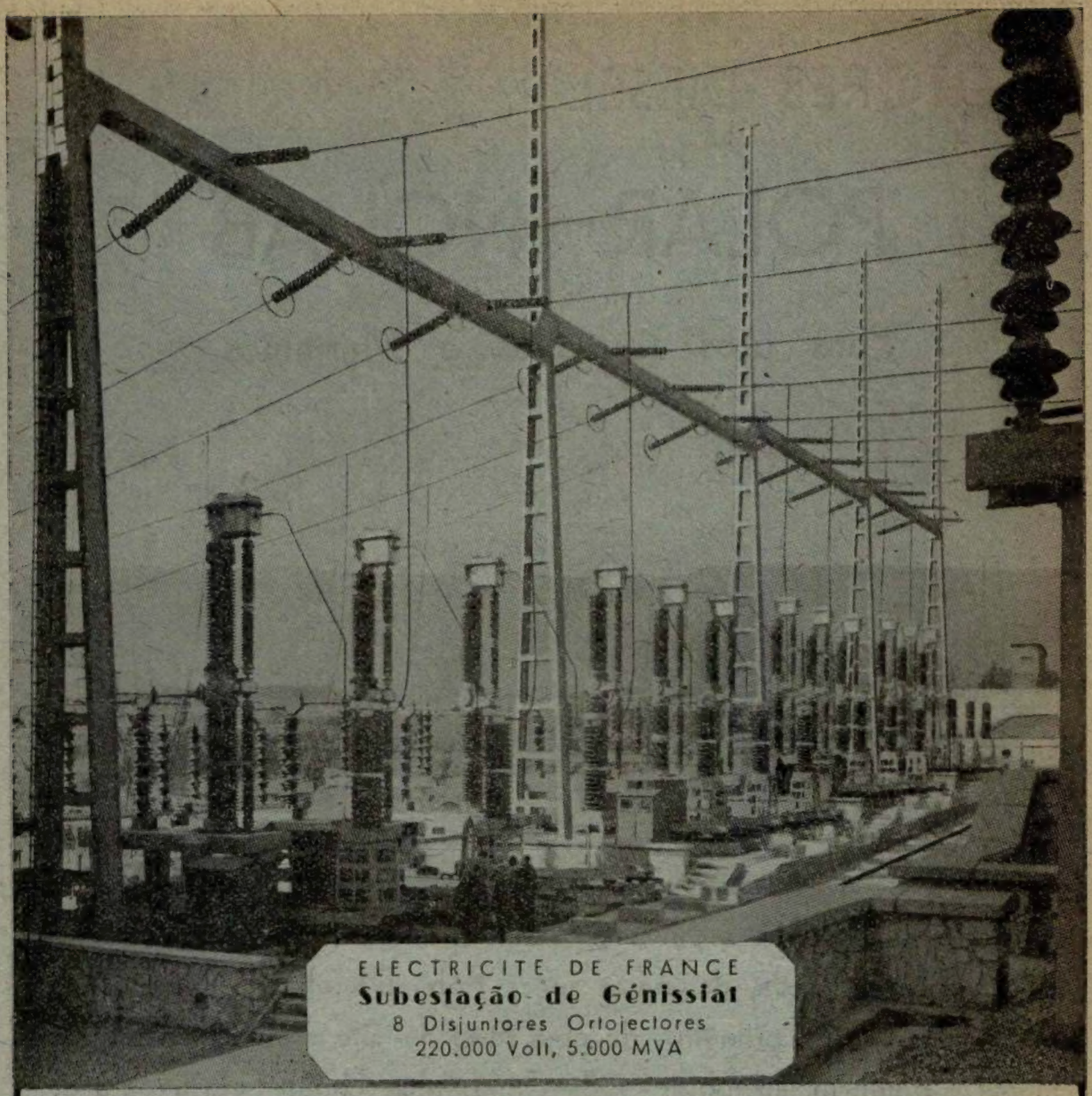
O n/m "Alfredo da Silva" é possuidor de dois motores propulsores de 1330 B. HP cada, da marca sueca Polar-Diesel, construídos pela Akt. Atlas Diesel, primeiros de uma série de oito motores da mesma marca e potência, adquiridos pela Companhia União Fabril, para os navios em construção nos seus estaleiros e destinados à Sociedade Geral de Comércio, Indústria e Transportes.

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

JAYME DA COSTA, L.DA

LISBOA
8, Rua dos Correeiros, 26

PORTO
12, Praça da Batalha, 12-A



Ateliers de Constructions Electriques de

DELLE

LYON-VILLEURBANNE (FRANCE)

APARELHAGEM ELECTRICA PARA

TODAS AS TENSÕES

Representantes para Portugal:

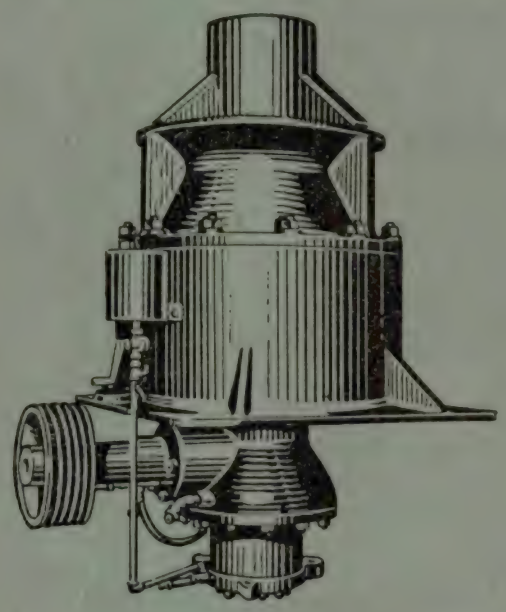
AGENCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos Industriais, 4 • Telefone 80692 • LISBOA

DELEGADOS DA COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ELECTRICITÉ "DE PARIS"

ALLIS-CHALMERS

O fabricante de maior variedade de equipamento industrial do mundo



TRITURE MAIS TONELADAS A MENOR PREÇO

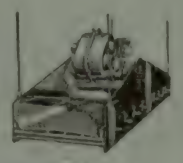
ALLIS-CHALMERS fabrica trituradoras giratórias e de maxilas para toda a classe de operações de trituração, que podem triturar grandes quantidades de pedra ou minério a baixo custo e com resultados uniformes.
A da gravura é giratória, de grande capacidade; usa-se em reduções primárias e secundárias.
As trituradoras de maxilas possuem grandes aberturas de alimentação e superfícies de trituração de ligas de resistência especial. Efectuam trabalho mais violento com grande rendimento.

QUEIRA CONSULTAR-NOS SOBRE MAQUINARIA:

Os equipamentos ALLIS-CHALMERS satisfazem as necessidades de muitas indústrias e são famosas pela sua segurança e excelente construção.

Equipamento eléctrico

Transformadores



Crivos

Centrais

Motores

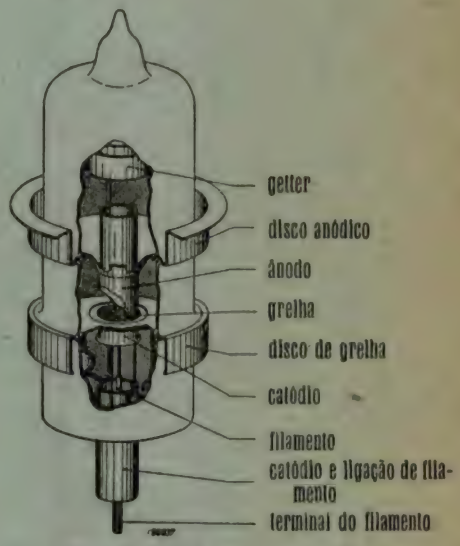
ESTABELECIMENTOS HEROLD, LIMITADA

Rua dos Douradores, 7 Lisboa Telef. 2 4221/3

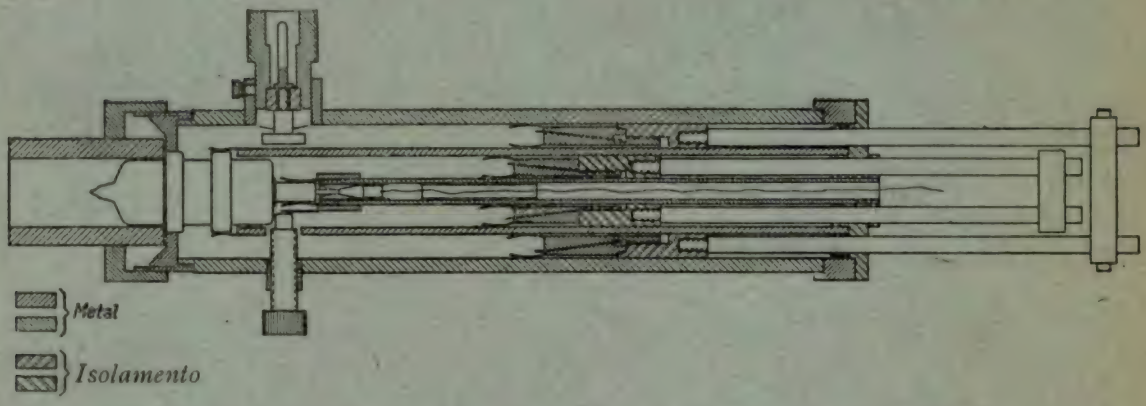
EIS UM EXEMPLO DA TÉCNICA ELECTRÓNICA

PHILIPS...

Fotografia das peças da linha coaxial do oscilador



Válvula EC 55



Corte de um Oscilador de ondas ultra-curtas, trabalhando entre 750 e 1250 Mc/s (comprimento de onda de 40 a 25 centímetros).

Uma aplicação da válvula E C 55, um tríodio de concepção revolucionária, especialmente construído para funcionar em circuitos coaxiais, que, sob uma tensão anódica de 300 Volts, é susceptível de fornecer uma saída útil de 2,8 W a 1000 Mc/s ($\lambda = 30$ cm) e 0,5 W a 3000 Mc/s ($\lambda = 10$ cm).

Esta válvula não é um exemplo isolado; pelo contrário, integra-se na perfeição construtiva das novas séries miniatura Philips «Miniwatt».

Se está interessado na elaboração de projectos à base de ondas ultra-curtas, se necessita de adquirir aparelhagem de medidas para fins especiais, ou, numa palavra, se qualquer problema dentro do vasto raio de acção da ciência electrónica o interessa, a

SECÇÃO ELECTRÓNICA DA

PHILIPS PORTUGUESA, S. A. R. L.

Prestar-lhe-á todos os esclarecimentos necessários, e porá à sua disposição toda a documentação técnica disponível.

L. M. ERICSSON

STOCKHOLM SUÉCIA

- INSTALAÇÕES TELEFÓNICAS DE TODOS OS SISTEMAS
- SISTEMAS TELEFÓNICOS POR ALTA FREQUÊNCIA
- SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO
- INSTALAÇÕES DE VIGILANCIA E DE CONTROLE A DISTÂNCIA
- SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÕES E SONORIZAÇÃO, RECEPTORES
- INSTRUMENTOS DE MEDIDA E CONTADORES ELÉCTRICOS
- PRENSAS HIDRÁULICAS E MÁQUINAS PARA ENSAIO DE MATERIAIS

CONDENSADORES PARA CORRIGIR O FACTOR DE POTÊNCIA

- MOTORES ELÉCTRICOS
- DIVERSA APARELHAGEM TELEFÓNICA E ELÉCTRICA
- FIOS E CABOS TELEFÓNICOS E ELÉCTRICOS

Agentes Gerais em Portugal:

SOCIEDADE HERRMANN L.DA

Calçada do Lavra, 6 — LISBOA

Telefones { **2 3168** / **2 3169** **Telegramas: LAVRA**

Oficina de construção e reparação de material telefónico e eléctrico

OERLIKON

Máquinas e aparelhos eléctricos de todo o género

epresentante Geral para Portugal e Colónias

P. BELLASI

Porto // Rua Sá da Bandeira, 494, 3.° // Telefone 21968

Central subterrânea de Innertkirchen (Suíça), equipada com três alternadores Oerlikon, de 52.250 kVA 428 r. p. m., cada um. Estes alternadores verticais são os geradores mais potentes da Suíça

PRODUTOS OERLIKON

Equipamentos eléctricos completos para centrais termo e hidroeléctricas, subestações e instalações de distribuição. Accionamentos eléctricos especiais para todas as indústrias. Geradores, motores, transformadores, reguladores de indução, comutadores, rectificadores de vapor de mercúrio, equipamentos para soldadura eléctrica por arco. Electrolizadores para a produção de hidrogénio e oxigénio. Aparelhos de manobra e protecção para alta e baixa tensão, reguladores automáticos de tensão, relés, pára-raios. Turbinas de vapor e turbo-geradores, ponte-gruas, compressores. Equipamentos eléctricos para locomotivas, automotoras, veículos diesel-eléctricos, locomotivas de acumuladores, tranvias, troleibus, funiculares e teleféricos, etc,

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

ZURICH-OERLIKON (SUIÇA)

TÉCNICA

LUÍS DA CUNHA FERRAZ

DIRECTOR

ANO XXVII - N.º 205 OUTUBRO 1950

Com a devida autorização, transcrevemos hoje como artigo de abertura as «PALAVRAS DE INTROITO» *que o Snr. Prof. Engenheiro Francisco de Paula Leite Pinto escreveu para as Folhas da Cadeira dos Caminhos de Ferro (edição 1949—50), por apresentarem pontos de vista que consideramos interessantes e pouco divulgados:*

C. D. 331.62 : 34

Paul Valéry, no prefácio excelente do excelente livro «Métier d'homme», de Raoult Dautry, que foi Director Geral dos Caminhos de Ferro do Estado francês e Ministro da Produção, põe bem em relevo que a cultura é estéril, se não for combinada com a prática e com a *acção.*

De facto, «nós só sabemos, o que sabemos fazer».

O engenheiro é, antes do mais, um *homem de acção,* capaz de pôr ao serviço de outros homens os recursos e as forças naturais, controlados, aproveitados e transformados pela ciência do seu tempo.

Durante séculos, durante muitos séculos mesmo, o engenheiro era, apenas, um homem *de artes,* agindo sob pressão de uma necessidade premente, quase sempre a guerra ou a preparação da defesa.

A profissão de engenheiro, generalizada, nasceu, pode dizer-se, com a máquina.

Ao lado do chefe dos operários *(arqui-tecto)* passou, então, a agir o chefe dos engenhos e como as máquinas foram, sucessivamente, substituindo os operários, o «mestre da obra» passou a ser cada vez mais o engenheiro.

Foi o engenheiro que, desde o princípio do século passado, transformou o mundo, de um *mundo natural,* num *mundo criado.*

Desta transformação advieram outras nos planos da política e da economia, no plano social e, até, no plano jurídico. A humanidade passou a mover-se, passou a viver, dentro de quadros diferentes dos quadros naturais em que vivera milhares de anos.

Desapareceu a escravatura dos homens, porque o homem criou escravos mecânicos, isto é, máquinas. O homem cria, com a ajuda das máquinas, outras máquinas mais poderosas, capazes de, por sua vez, fabricar máquinas e maquinismos de várias espécies.

O poderio de uma Nação já se não avalia só pelo cômputo da sua população activa e a descriminação das suas riquezas naturais. É necessário, hoje, que se alinhem outros números, referentes às *possibilidades técnicas*, isto é, às possibilidades que essa Nação tem de *fabricar máquinas* e, com elas, *transformar* recursos naturais e *distribuir* produtos industriais.

Não basta, porém, fabricar máquinas; é preciso saber *criá-las,* pois os escravos mecânicos têm uma vida reduzida, não porque «se usem ou se gastem» depressa, mas porque os progressos incessantes da energética e da indústria, obrigam à sua rápida substituição por outros mais eficientes.

Esta necessidade de *progresso* técnico deveria, só por si, impedir que o homem fosse escravizado pela sua criação.

A máquina é, permitam-me a expressão, *o pensamento e a acção do homem materializados.*

Uma Nação vale, em grande parte, pelo que valerem os seus engenheiros, como criadores e fabricantes de máquinas e como orientadores dos trabalhos desses seus escravos mecânicos.

Não se julgue, porém, que o engenheiro pode ser, hoje, um cientista isolado. O engenheiro é um técnico que «vive» em equipe, mesmo que a equipe não tenha realidade sintrópica. O trabalho do engenheiro é, essencialmente, um trabalho de colaboração. O engenheiro aplica os conhecimentos acumulados por outros cientistas e outros técnicos, na resolução de problemas concretos que têm por fim melhorar *constantemente* as condições de vida de alguns homens, quase sempre de muitos homens.

Estes conhecimentos transmissíveis, acumulados por gerações e condensados em expressões sintéticas (umas vezes chamadas receitas, outras vezes chamadas leis) não são bastantes para *formar* o engenheiro.

O engenheiro, porque é um cientista, deve servir-se desses conhecimentos com *método científico.* Um engenheiro, porque é um técnico, deve, também, ter *formação experimental e profissional.* O engenheiro, porque é um chefe de manobradores de maquinismos, deve ter a *formação moral e social,* indispensável para dirigir homens. O engenheiro deve ser um *servidor da Nação.*

A formação científica é muito importante, melhor diremos indispensável, mas é insuficiente.

Só familiarizado com a experiência (dos outros e a própria) poderá um engenheiro projectar uma máquina, uma construção ou um aperfeiçoamento fabril que não seja, nem rídiculo, nem utópico.

Aqui, seja-me permitido um parêntesis. Não é ao engenheiro que compete sempre planear e construir edifícios que sirvam ao fabrico ou ao abrigo de máquinas ou ao abrigo e reuniões das pessoas. Pode acontecer que se não encontre um engenheiro com a sensibilidade artística requerida ao projectista de alguns edifícios. Se é certo que, muitas vezes, basta aplicar fórmulas matemáticas para traçar uma bela curva ou encontrar harmonia

e beleza, não é menos certo que a composição decorativa ou a integração de um edifício em determinada paisagem ou conjunto, exige *formação artística* que não foi dada ao engenheiro.

Quero eu dizer que, em muitos casos, se justifica que o «mestre da obra» não seja o engenheiro mas sim, à maneira antiga, o arquitecto. Trata-se, porém, de «outro» arquitecto.

O arquitecto de hoje, embora artista de fina sensibilidade, já é um técnico.

Tende, mesmo, a generalizar-se a tendência a dar a todos os técnicos uma formação que se aproxime da dos engenheiros. É essa tendência que leva à ligação da palavra «engenheiro» ao título dos profissionais de muitas técnicas.

Fechado este parêntesis, digamos que o papel do engenheiro não termina com o projecto.

É preciso *executar* o que foi concebido e nem tudo o que um engenheiro concebeu é passado à tela ou à memória descritiva.

Surgem-nos, então, duas espécies de engenheiros: os que projectam melhor do que executam e os que, ao contrário, preferem materializar um projecto, a concebê-lo.

Tem-se afirmado, vezes sem conto, que os primeiros são homens de gabinete ou de pensamento e que os outros são homens de acção ou de realização. O que não há dúvida é que nenhuma grande obra de engenharia se pode ordenar sem as duas fases e, portanto, sem a colaboração das duas tendências.

Porque, realmente, elas existem, tem-se procurado «produzir» engenheiros de dois tipos: com muita cultura teórica e pouca experiência técnica e, ao contrário, com pouca formação científica e muito contacto com a indústria e com a experimentação.

Ora, a verdade é que desta maneira não se formam duas espécies de engenheiros, pois um engenheiro digno deste nome necessita sempre de uma sólida formação científica, quer dizer da aquisição de um método de trabalho feita através do estudo da matemática e da física.

O *princípio,* o *fundamento,* a *base* das coisas é mais importante que essas coisas. O método científico é o essencial.

A chamada especialização é, a mais das vezes, uma sedimentação de conhecimentos informativos, que se pode iniciar em qualquer altura da vida profissional. Uma escola de engenheiros deve ter preocupações formativas. A informação é um pormenor.

É um erro especializar um engenheiro desde o início do seu curso.

Não se invoque o padrão americano! Por um lado, porque a designação de engenheiro se aplica, nos Estados Unidos, a uma gama larguíssima de técnicos, por outro lado porque o próprio engenheiro universitário como técnico de cultura elevada, é criado à escala da indústria americana que, por sua vez, deriva de uma riqueza natural que a nossa velha Europa, compartimentada, não tem.

Por isso a especialização na Europa ou vem depois da Escola ou se *inicia* nos últimos anos de curso. Nem pode deixar de ser assim, porque a indústria moderna «diversificou-se» tanto, que não seria possível a uma Escola criar técnicos capazes de orientar todos os ramos industriais.

Não nos esqueçamos, também, que a investigação industrial é, no fundo, verdadeira investigação científica, isto é, pesquizas orientadas pelos métodos das ciências. Mais ainda:

a maior parte das descobertas científicas actuais derivam da investigação industrial ou técnica.

Em resumo: o que caracteriza um engenheiro saído de uma escola universitária é a sua *formação* científica. Um engenheiro é «formado» por tal escola e o ambiente onde «se formou» até aos seus 25 anos, «marca-o» pela vida fora.

Isto quer dizer que o tal engenheiro que prefere *executar* um projecto elaborado por outro a concebê-lo, não é, *apenas,* «homem de acção». É *antes de tudo,* um «intelectual» *que executa com método científico.*

Falamos, neste momento, de engenheiros diplomados por escolas superiores. Não queremos dizer — longe de nós, esta ideia! — que não haja em todo o mundo, engenheiros com outra «formação» e que eles não tenham dado sobejas provas da sua competência técnica. Todos nós sabemos quanto o progresso técnico deve àqueles que não se «formaram» em Universidades ou Escolas Superiores e como, por vezes, a intuição leva a criações não autorizadas pela ciência da época e, portanto, difíceis de serem concebidas por engenheiros com uma sólida preparação científica do «seu» tempo. Não é, porém, meu propósito falar agora desses outros engenheiros.

* * *

O engenheiro é, por definição, um crente do progresso material. O engenheiro *sabe* que foi a máquina que permitiu melhorar, mais ou menos, as condições de vida *de todos* que vivem sobre a Terra. O engenheiro *sabe* que a ciência e a técnica permitirão que se «construa um mundo», cada vez melhor.

No último século duplicaram a população activa e a vida média dos indivíduos e multiplicaram-se as possibilidades mundiais em energia.

Essa energia permitiu, em menos de 50 anos, a substituição, vertiginosa, da idade do aço pela do cimento, pela das ligas metálicas ligeiras, pela dos sintéticos, pela dos materiais compósitos, . . .

O reino da máquina, portanto do engenheiro, é, hoje, um vasto domínio: a extracção e a transformação de milhentas matérias primas; a manufactura dos mais variados produtos; o fabrico dos maquinismos e dos motores; a produção e o transporte das energias; a construção de vias de comunicação, com as suas obras de arte; a edificação de abrigos de toda a espécie e a sua adaptação a diversos fins; a transmissão dos sons e das imagens; tudo, enfim, o que, *ao serviço do homem,* transformou o mundo de Newton no mundo de Einstein.

Ao serviço do homem: é esta asserção que é preciso ter sempre presente. Sem ela a nortear o trabalho do engenheiro, poderá este ser levado ao erro, melhor diremos ao crime, de aperfeiçoar a máquina como se ela fosse um fim e não, como é na realidade, um meio de melhorar a vida do homem, tornando este *mais digno.*

O progresso material, ao permitir lazeres ao homem, dá-lhe ensejo de alargar os contactos sociais e torna-o mais receptivo às belezas da natureza.

O homem liberto de muitas das suas preocupações materiais pode educar-se melhor e, assim, vir a pensar melhor.

O progresso material poderá, desta forma — e isso não é um contra-senso — contribuir para a espiritualização de muitos.

Se a matemática e a física, bases de toda a ciência, dão ao engenheiro uma «formação», necessária para criar e orientar as máquinas, outra «formação» tão essencial como esta, é precisa ao chefe dos homens que hão-de dirigir o trabalho desses mesmos engenhos: *uma formação moral e social.*

Ao serviço do homem, quer dizer *continuidade e tenacidade na acção* por forma a «construir» e não a «destruir».

Servir é dedicação inteira e completa a um ideal superior.

A máquina, pensamento e acção materializados, sintetiza a servidão dos engenheiros à melhoria da vida dos outros homens.

* * *

Não me admiraria que famoso exegeta descobrisse ressaibo de materialismo nas palavras que aqui ficam.

Repudiaria tal exegese. Muito antes do profundo e cavo filósofo de Alem-Reno, de de que fala Garrett, já se teimava em espiritualizar D. Quichote e em materializar Sancho Pança.

Em verdade vos digo que o bom do cavaleiro manchego sempre marchou com o seu escudeiro à ilharga...

* * *

Ninguém melhor que um engenheiro de caminhos de ferro sabe que *qualquer* problema que a carril resolve é fruto de uma colaboração íntima de várias técnicas científicas.

Centenas de milhares de técnicos de várias espécies, englobando engenheiros formados, tornam possível a exploração ferroviária. O caminho de ferro valoriza todos os produtos da terra, transformados mais ou menos pela mão do homem, levando-os dos locais da sua produção, natural ou artificial, aos lugares do seu consumo.

Nessa grande tarefa económica, o caminho de ferro polariza a energia de milhões de homens e lança mão de técnicas variadas. Muitos desses homens ignoram as razões do seu procedimento, mas os chefes, aqueles que são administradores ou engenheiros, conhecem as razões científicas das normas regulamentares e dos planos elaborados.

Quais os elementos materiais que constituem um caminho de ferro? como se ligam entre si e que estruturas formam? como são usados e como são solicitados? como participam na tarefa comum?

Qual a influência do caminho de ferro sobre a produção e qual a influência recíproca?

Quais as condições «económicas» de determinada exploração? Como se estrutura a orgânica da entidade exploradora?

É tal a importância do caminho de ferro na vida moderna que todo o indivíduo de cultura média já formulou estas perguntas e para elas obteve *uma* resposta.

Um engenheiro necessita, porém, de se esclarecer *de outra maneira* sobre este assunto: é este o objecto desta cadeira.

Em todas as escolas de engenharia do mundo, qualquer que seja o seu grau, existem uma ou mais cadeiras de caminho de ferro. Apesar disso podemos afirmar que esta cadeira não é fundamental no plano de estudos!

Não o é, porque a matéria reveste um aspecto *informativo*. De *formativo* apenas uma ou outra faceta de carácter económico.

É preciso que o engenheiro saiba que o económico rege a produção e que a exploração ferroviária é sempre condicionada pela produção.

. . . . . .

LE TRIAS SALIFÈRE AU PORTUGAL

PAR MARIUS DALLONI

Professeur hon.re à la Faculté des Sciences d'Alger

C. D. 553.634 (469)

Entre le Massif Central Ibérique et les vestiges d'un vieux Continent atlantique, presque entièrement disparu sous l'Océan, les terrains secondaires et tertiaires du Portugal forment une large bande, sensiblement N-S, reposant sur le socle hercynien disloqué; ils contournent également la Meseta au Sud-Ouest et se prolongent dans la Cordillère bétique.

Sur un seul point, au Nord de Coimbra, on connaît du Permien, représenté par l'Autunien continental et fortement plissé de Buçaco [**11**]. On admet ensuite une longue lacune sédimentaire, dont il est difficile de limiter exactement la durée, en raison de l'incertitude où l'on est de l'âge des plus anciens dépôts mésozoïques, qui se présentent sous deux faciès: celui de la bordure du Massif Central et celui, très différent, qui s'en éloigne plus ou moins, sans que l'un et l'autre viennent jamais en contact; les deux séries peuvent être fossilifères, mais toujours à une certaine hauteur au-dessus de la base, au niveau du Rhétien ou, plus fréquemment, de l'Hettangien.

Les intéressantes observations faites, depuis Choffat, par les géologues du Portugal ont cependant permis de serrer la question de plus près et j'ai pu, tout récemment, en bénéficier en parcourant le pays sous la direction éclairée de M. G. Zbyszewski ([1]); d'autre part des sondages entrepris pour rechercher la potasse dans les «vallées tiphoniques» d'Estremadura ont recoupé, jusqu'à une profondeur notable, un complexe de couches certainement inférieures à celles que les auteurs plaçaient jusqu'ici, non sans hésitation, dans l'Infralias, amenant la découverte, bien inattendue, d'une puissante formation salifère. Il est donc maintenant possible de traiter le problème dont il s'agit avec des données plus sûres.

Le faciès de bordure du Trias portugais — Les assises constituant la base de la série secondaire, du Douro à l'Algarve, ont une allure et une constitution particulières; très peu inclinées ou même quelquefois subhorizontales sur des schistes anciens ou le Carbonifère, c'est une succession importante — plusieurs centaines de mètres — de dépôts en grande partie grossièrement clastiques: grès et graviers rouges, verts ou blanchâtres, souvent arkosiques, se délitant en minces bancs couverts de mica détritique; des lits argileux aux colorations vives peuvent les séparer, mais surtout de véritables amas, mal stratifiés, de blocs et de cailloux bien roulés, parfois polis et striés par le vent et parmi eux, à Coimbra notamment, des «galets à facettes» [**12**]. Les couches sont souvent «entrecroisées» et se coupent em biseau; elles sont, aussi, fréquemment fracturées.

Au-dessus viennent, d'ordinaire, d'autres grès plus fins, jaunes ou blancs, avec intercalations de dragées quartzeuses; ce sont, encore, en grande partie, des arkoses à feldspaths très altérés sous l'influence d'un climat plus humide et permettant l'essor de la végétation, car on y a trouvé quatre espèces de plantes, dont trois sont connues du Rhétien. Par des alternances de bancs argileux ou calcaires à *Estheria,* ces grès passent progressivement à des marnes gypseuses et des calcaires marneux qui con-

---

([1]) Je dois aussi de vifs remercîments à M. le Professeur Custódio de Morais et à son assistant, M. Soares de Carvalho, qui ont bien voulu me montrer la région de Coimbra.

tiennent des insectes et des mollusques saumâtres de l'Hettangien. Ce n'est qu'au-dessus qu'apparaît une formation franchement marine, du Sinémurien. Des filons et des dykes d'ophite, ou de roches voisines, recoupent cet ensemble.

La série inférieure est d'origine continentale; elle est très analogue, à tous égards, au «Nouveau Grès rouge» et au «Grès bigarré» de bien des régions de l'Europe occidentale, Ribeiro et Teixeira la comparent au Werfénien à *Equisetum* et *Voltzia* [**12**]. Je comprends moins l'opinion de Fleury que «les mers triasiques ont déferlé sur les bords disloqués et effondrés de la Meseta» [**6**].

On est à peu près d'accord sur son âge. Pour Choffat, qui l'a dénommée «Grès de Silves» et lui attribue une épaisseur de 400 mètres, elle correspond au Trias et au Rhétien et c'est aussi l'avis de Teixeira, qui me paraît tout à fait justifié. Zbyszewski estime que les grès rouges et les conglomérats pourraient être triasiques, bien qu'on ne puisse le prouver [**17**]. C. Freire de Andrade croit pouvoir préciser davantage et parle de Trias supérieur [**10**], tandis que C. Bonnet avait même cru pouvoir distinguer, en Algarve, le Muschelkalk et le Keuper, d'après leurs caractères lithologiques.

Il reste trop peu de chose des «Terres atlantiques» pour qu'il ait pu subsister des traces de la bordure occidentale du Trias; mais on le retrouve à la lisière sud de la Meseta et il se poursuit largement en Espagne, où tous les auteurs ont insisté sur le contraste frappant entre ces conglomérats et ces grès subhorizontaux et les marnes bariolées gypsifères si développées en Andalousie dans le même terrain. Nous observons au Portugal les mêmes faciès et aussi tranchés.

Le complexe lagunaire et la structure des «aires tiphoniques» — On ne connaissait, jusqu'à ces derniers temps, que la partie supérieure d'une longue succession de couches qui se présente, dans certaines zones déprimées de l'ouest du Portugal, sous le Lias ou plus fréquemment le Jurassique supérieur, avec des caractères bien typiques.

Des *marnes argileuses,* habituellement rougeâtres ou lie-de-vin, parfois bigarrées de bleu, de vert et de noir, prédominent dans cet ensemble. Ce sont les «marnes de Dagorda» de Choffat, toujours imprégnées de sel et de gypse; celui-ci s'y intercale en amas ou en veinules fibreuses, très nombreuses près de Sesimbra, par exemple; les cristaux de quartz pyramidés y sont assez fréquents [**14**]. A la surface, l'altération donne ces glaises gluantes si souvent décrites en bien des régions sous le nom d'«argiles irisées». Les forages récents ont montré que ces marnes, qui recouvrent normalement le Salifère, peuvent alterner, en couches épaisses, avec les masses de sel gemme et, quelquefois, des amas gypseux.

Des *calcaires* compacts, en dalles ou en plaquettes, gris ou jaunâtres constituent, au-dessus des marnes, de petits pitons escarpés (cabeços), d'espect ruiniforme; plus ou moins colorés et accompagnés de brèches, ils sont souvent magnésiens et passent à des *dolomies,* quelquefois cloisonnées, parfois à de véritables *cargneules.* Ces bancs calcaires ou dolomitiques, toujours fortement redressés, sinon verticaux, peuvent être d'âge assez incertain; Choffat les décrit comme «enclavés» dans les marnes rouges, mais il note que des lambeaux de Malm se trouvent dans les mêmes conditions; le doute n'est pas permis quand on y rencontre des mollusques saumâtres de l'Hettangien et il réunit alors dans son «Infralias» ces couches fossilifères et les marnes [**5**]. Dans une région où elle est bien représentée, comme celle de Torres Vedras, il n'attribuait à toute cette série que 100 à 125 mètres d'épaisseur.

Déja, en ne se basant que sur l'observation des affleurements, cette estimation paraît très insuffisante. Le *gypse* seul constitue des amas importants utilisés dans la Beira littorale, l'Estremadura et l'Algarve; mais, en outre, les sondages l'ont retrouvé dans le sous-sol avec des épaisseurs notables: 90 mètres à Obidos, sous les marnes rouges, mêlé de calcaire, de marnes et de brèches et passant plus bas à l'anhydrite; à Gaeiras, deux assises de 60 mètres alternent avec des marnes qui sont elles-mêmes gypseuses et sur un autre point on a traversé 90 mètres de gypse [**17**].

Des sources sulfatées ou sulfureuses trahissent parfois sa présence. Je crois que la plupart, au moins, de ces amas, sont antérieurs à l'Hettangien; au sud de Coimbra, où «l'Infralias» de Soure a été décrit par Chofat [8], celui-ci n'y signale que les marnes de Dagorda, la dolomie et l'ophite; or, le gypse y est maintenant exploité dans le coeur du dôme, recouvert par les premières couches fossilifères, que surmontent les calcaires dolomitiques.

Mais la découverte la plus sensationnelle est celle de puissants gisements de *sel gemme;* dans le terrain où, même avant que ceux-ci soient reconnus, un entreprenant industriel de Lisbonne, M. Camello, n'a pas hésité à faire de gros travaux d'exploration pour rechercher la potasse. A son défaut (on n'en a guère rencontré jusqu'ici que des traces), les sondages, vérifiant la prospection géophysique, ont montré l'existence du chlorure de sodium en quantités assez importantes pour revêtir un intérêt industriel: plus de 300 mètres, sous le complexe gypso-marneux à Obidos, où il est d'abord de couleur grise, très chargé d'enclaves, puis rosé et enfin rougeâtre plus bas. Le complexe salifère a plus de 250 m à Gaeiras. Enffin près de Leiria, un sondage a recoupé du sel plus pur que le précédent sur plus de 200 mètres d'épaisseur vraie.

On s'explique maintenant pourquoi ces marnes bariolées ou les argiles rouges, aux affleurements, sont toujours intimement mêlées de sel et le fait que les eaux qui y circulent ou en emergent grâce à des failles sont constamment chlorurées [16]: en divers points, on les avait de longue date utilisées pour créer des marais salants artificiels et celui de Fonte da Bica (Rio Maior) donne chaque année 1500 tonnes de sel, l'eau qu'on y fait évaporer contenant 213 grammes de Na Cl par litre. Ces couches à faciès keupérien sont, ici encore, traversées par des ophites intrusives.

L'origine de ce marais salant paraissait jusqu'ici énigmatique C. da Costa notait [14] que les vases déposées dans le milieu marin sont naturellement sodiques; mais elles ne le sont jamais fortement. Pour Machado et Costa, le sel dissout dans l'eau des sources chlorurées «imprégnait» simplement les marnes, sédimentées peut être dans des conditions analogues à celles des boues de la Caspienne actuelle [7]; mais ces auteurs s'étonnaient à juste titre que le ruissellement put remanier le sel contenu dans des couches imperméables et il faut admetre que des failles facilitent l'infiltration. On sait aujourd'hui que tous les forages pratiqués près de ces émergences ont rencontré en profondeur des lentilles de sel plus ou moins importantes.

Les autres substances salines qui peuvent accompagner, dans les formations de ce type, le gypse et le Na Cl sont encore mal connues; à Parceiros, des traces de chlorure de magnésium ont été signalées à la partie supérieure du gîte.

J'ai indiqué la présence habituelle des roches ophitiques dans ces mêmes complexes; c'est peut-être le seul caractère commun avec le faciès continental de bordure et il convient de souligner, d'autre part, la comparaison qu'on peut faire à cet égard avec les ophites liées au Trias supérieur lagunaire de l'Andalousie, de l'Afrique du Nord, des Pyrénées etc.

Mais d'autres analogies, non moins étroites, sont manifestes entre la tectonique si particulière des aires triasiques de ces dernières régions et la structure des «vallées tiphoniques». Dès 1861, Choffat dénommait ainsi de longues zones déprimées — certaines se suivent sur près de 100 kilomètres —, occupées par les dépôts lagunaires et correspondant à des anticlinaux dont la voûte a été violemment soulevée, déchirant les flancs des plis jurassiques beaucoup moins accusés dont ils forment l'axe; (1) le rabotage et le laminage des assises, de notables lacunes et des brèches de friction, marquent l'intensité extraordinaire de ces dislocations, limitées à d'étroits compartiments.

---

(1) Comme partout, ces poussées paraissent s'être continuées dans des terrains très récents: G. Zbyszewski a montré qu'elles ont dérangé le Pliocène en Estremadura [17]. On peut noter, par ailleurs, que, contrastant avec la stabilité des abords de la Meseta, ceux des «vallées tiphoniques» sont fortement sismiques, par exemple aux environs de Batalha et Montajunto.

Les poussées de bas en haut dans la couverture jurassique rigide, d'un matériel plastique et déformable ont provoqué dans celui-ci des contournements d'autant-plus invraisemblables que le gypse et le sel y sont mieux représentés. C'est à des injections de cette sorte que les géologues algériens ont assez longtemps appliqué la dénomination de «gypses éruptifs» qui a été employée aussi, tant elle faisait image, pour les intrusions de Trias salifère des Pyrénées et de l'Andalousie. Mrazec a montré ensuite que ce style de «plis à noyaux perçants» ou «diapirs» est admirablement caractérisé dans les Carpathes roumaines et on l'a reconnu, depuis, dans bien d'autres régions du globe. La présence de masses salines, quel que soit leur âge, est un facteur essentiel, aussi bien dans le Permien du Hanovre, de l'Oural et de la Gulf Coast que dans le Trias des Pyrénées, de l'Andalousie et de l'Atlas, l'Oligocène d'Alsace et du bassin de l'Ebre ou le Néogène roumain; aussi parle-t-on couramment aujourd'hui d'une «tectonique du sel». L'existence, longtemps insoupçonnée, de grands amas de gypse et de sel dans le sous-sol de certaines régions du Portugal s'accorde bien avec leur structure; elle explique tout ce qui paraissait étrange à Choffat dans les dislocations des «vallées tiphoniques».

L'âge du Salifère portugais — Ainsi, par la nature lithologique et le faciès des dépôts, qu'on connaît beaucoup mieux depuis les explorations profondes et en particulier l'importance des amas de gypse et de sel révélée par l'ascension des noyaux diapirs, enfin les analogies de structure, on peut admetre que «l'Infralias» des géologues portugais couronne un puissant complexe lagunaire qui ne diffère en rien des Keuper des régions classiques.

Il est impossible que ces formations appartiennent à un autre cycle que celui du Saliférien des pays voisins de l'Europe occidentale et de l'Afrique du Nord et j'insiste sur le fait qu'elles ne sont connues nulle part à la base du Lias.

Les sédiments qui accompagnent partout, au Portugal, les masses salines, sont eux-mêmes caractéristiques du Trias supérieur de faciès germanique et en particulier les marnes rouges ou bariolées, salées et gypseuses, à quartz bipyramidés, qui les ont préservées de la destruction près des affleurements; leur développement dans ce terrain empêche de les confondre avec les récurrences qui, parait-il, se présentent plus haut dans le Rhétien, (1) l'Hettangien et même le Sinémurien: d'après Choffat, il y en aurait de semblables dans le Malm!

Les calcaires en plaquettes et les dolomies passant aux cargneules, souvent mouchetées de carbonate de cuivre, en lambeaux épars au milieu des marnes, se retrouvent partout, avec la même physionomie, dans le Keuper typique; on sait qu'ils s'élèvent dans le Rhétien et en Andalousie, notamment, on ne peut guère séparer ceux des deux étages. Quant aux dykes d'ophite et aux filons doléritiques, d'ordinaire si intimement associés au Trias, ils existent, dit G. Zbyszewski, dans toutes les aires tiphoniques importantes du Portugal [16].

Aussi ce géologue et Mlle Rau emploient-ils volontiers une expression empruntée à Choffat, celle d'«Infralias à aspect de Keuper» [18]. Je crois qu'il faut aller plus loin et admettre que les deux étages sont ici réellement représentés, même sans attendre qu'on découvre, dans le second, des fossiles caractéristiques.

* * *

L'interprétation que je propose s'acorde avec l'opinion de ceux qui, déja, distinguent deux séries parallèles dans le Trias portugais, représentées par le faciès marginal de la Meseta et celui, si différent des «vallées tiphoniques»: peut-être observera-t-on quelque part le passage latéral de l'une à l'autre. Cependant, G. Zbyszewski pense que les grès et les conglomérats se poursui-

(1) Il en est de même en Angleterre, principalement dans l'Est, où le Rhétien est formé en majeure partie de «marnes bariolées» et concordant sur le Trias; dans le centre et le Sud de l'Allemagne, des argiles rouges de la base du Rhétien sont semblables à celles qui sont si développées dans le Keuper (HAUG, traité de Géologie, p. 940 et 941).

vent probablement en profondeur sous le Salifère et ce qui peut, en effet, le faire croire, c'est que dans certains sondages (1.035 m. à Obidos), les marnes rouges les plus profondes se chargent progressivement de sable. Dans ce cas, on peut supposer que cet horizon sera bien moins épais que sur le bord du massif ancien; il représenterait, au large de celui-ci, un dépôt de comblement des dépressions, de nivellement, préludant au régime des lagunes.

Sur le plan général, les considérations qui précèdent sont en faveur du classement de l'étage Rhétien à la partie supérieure du Trias, tendance de plus en plus suivie par la plupart des géologues ([1]).

Les conclusions de cette étude n'ont pas qu'un intérêt théorique, car le Trias salifère offre des ressources minérales importantes. Le Portugal peut désormais exploiter son sel gemme, comme on le fait en Allemagne, dans le Jura, le Sud-Ouest de la France et d'autres pays; la recherche de la potasse y paraît beaucoup moins aléatoire depuis sa découverte dans le Trias sous-pyrénéen([2]). Enfin, le rôle des plis «tiphoniques» ou «diapirs» dans la mise en place des hydrocarbures, dont ils peuvent avoir facilité la migration, ouvre certaines perspectives; je rapelle que P. Choffat estimait possible que l'«Infralias» d'Estremadura recélat des gisements primaires de pétrole et on explore toujours, à cet effet, l'intéressante zone de Torres Vedras.

BIBLIOGRAPHIE

1 1881-2 CHOFFAT (P.) — Note préliminaire sur les vallées tiphoniques et les éruptions d'ophite et de teschénite au Portugal. *Bull. Soc. Géol. France,* t. x, p. 267-288

2 1883-7 CHOFFAT (P). — Nouvelles données sur les vallées tiphoniques du Portugal. *Communic. Serv. Géol. Portugal,* I.

3 1899 DELGADO (N.) — et CHOFFAT (P.) — Carte géologique du Portugal au 500.000e.

4 1908 CHOFFAT (P.) — Essai sur la tectonique de la chaîne de l'Arrabida. *Publ. Comm. Serv. Géol. Portugal.*

5 1914 CHOFFAT (P.) — Le Pétrole en Estremadura (confér.). Trad. J. Gavala dans *Rev. Obras publ. y mineras,* Madrid XLIV.

6 1920 FLEURY (E) — Une phase brillante de la Géologie portugaise: P. Choffat. — *Mem Soc. Portug. Sc. Natur.* Ser. géolog. n.° 3

7 1926 MACHADO et COSTA — Les gisements de sel gemme du Portugal. *C. R. XIVe Congr. géol. intern.* (Madrid)

8 1927 CHOFFAT (P.) — Cartas e cortes geológicos. Distritos de Leiria e Coimbra. *Publ. Comm. Serv. géol. Portugal.*

9 1928 CHOFFAT (P.) — Carta e cortes geológicos dos arredores de Torres Vedras. *Publ. Comm. Serv. Géol. Portugal.*

10 1933 ANDRADE (C. F. de) — O Hettangiano de S.ta Cruz, do Vimieiro, dos Cucos e do Serro Ventoso e algumas considerações sobre os vales tiphonicos — *Bol. Mus. Miner. e Géol. Univ. Lisboa,* n.° 2.

11 1942 TEIXEIRA (C.) — Elemento para o estudo da flora fossil do Autuniano do Buçaco. *Bol. Mus. e Labor. Miner. e Geol. Fac. Cienc. Porto* (2), n.° 27.

12 1942 RIBEIRO (O.) — et TEIXEIRA (C.) — Sur le caractère continental du Trias portugais. *Bol. Soc. Géol. Portugal* (Porto), I. fasc. 3.

([1]) Ce groupement s'impose en Afrique du Nord, où ces deux terrains sont inséparables; il est déja réalisé, avec la notation 1,-t³ sur plusieurs feuilles (*Cahors, Rhodez*) de la carte géologique détaillée de la France et il a déja été adopté, au surplus, sur la Carte géologique du Portugal au 500.000e [**3**].

([2]) M. DALLONI — Note préliminaire sur la structure géologique et la recherche des gisements de sels de potasse dans la région des Landes — *C. R. VIe Congr. Inter. Mines, Métall. et Géol. Appl.* (Liège, 1930 — 1931).

13 1943 SILVA FREIRE (L. de) — Quadros de estratigrafia portuguesa metropolitana

14 1944 COSTA (J. Carrington da) — Vales tifonicos, diapirismo e algumas considerações sobre a ocorrencia dos sais de potassio — *Bol. Mus. e Lab. Miner. e Geol. Fac. Cienc. Porto* (2), n.º 38.

15 1947 RIBEIRO (O.) — A proposito do caracter continental do Triassico português. *Bol. Soc. Geol. Portugal* (Porto), VI fasc. 3.

16 1947 ZBYSZEWSKI (G.) — Essai d'études expérimentales sur les phénomènes «tiphoniques». *Bol. Soc. Geol. Portugal* (Porto).

17 1948 ZBYSZEWSKI (G.) — Note sur le l'existence, au Portugal, d'une tectonique salifère pliocène — Las *Ciencias* (Madrid), XIII, n.º 1.

18 1949 RAU (V.) et ZBYSZEWSKI (G) — Livret guide de l'éxcursion d'Estremadura et Ribatejo. *Congr. Inter. Géogr.*, Lisbonne.

19 1949 SOARES DE CARVALHO (G.) — Um perfil geológico da região de Coimbra *Rev. Fac. Cienc. Univ. Coimbra*, XVIII.

ATELIERS NEYRET-BEYLIER & PICCARD-PICTET

GRENOBLE

LABORATÓRIO DE ENSAIOS HIDRÁULICOS

EQUIPAMENTOS DE QUEDAS DE ÁGUA

HIDRÁULICA AGRÍCOLA — REGA

EQUIPAMENTOS DAS GRANDES BARRAGENS

Rodas para turbinas «FRANCIS» de 56.000 CV e 28.000
CENTRAL DE CORDEAC

EM PORTUGAL:

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
NA AMADORA

"NEYRPIC"

R. Vice-Almirante João António de Azevedo Coutinho
AMADORA Telef. VENDA NOVA 48

TABELAS TÉCNICAS

PARA

ENGENHARIA CIVIL

POR

NUNO ABRANTES E A. CELESTINO DA COSTA

Sob a direcção do

PROF. VICENTE FERREIRA

3.ª EDIÇÃO

Revista e aumentada pelo

ENG.º FERNANDO ABECASIS

EDIÇÃO DA «TÉCNICA»

PREÇO **90$00** — Desconto 10 °/₀ para os Assinantes

SÍNTESE DO AMONÍACO

PELO ENG.º QUÍMICO INDUSTRIAL (I. S. T.) HENRIQUE MARQUES PEREIRA
(União Fabril do Azoto)

C. D. 661.5

O presente artigo tem por objecto familiarizar os estudantes do Curso de Química do I. S. T. com a aplicação a uma reacção catalítica na fase gasosa de determinadas noções de termodinâmica, cinética e estática química, quer no domínio dos gases perfeitos quer no dos gases reais. Complementarmente apresentam-se alguns exemplos de instalações industriais que constam da literatura de revistas e da literatura de patentes.

I — CONSTANTES DE EQUILÍBRIO

1 — Considerações termodinâmicas gerais

Seja F a energia livre de um sistema (igual ao potencial termodinâmico mas com sinal contrário)

$$F = H - T\,S$$

em que H é a entalpia e T a temperatura.

Como se sabe, sendo p a pressão, é

$$S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_p \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

portanto

$$F = H - TS = H + T\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_p$$

ou

$$F - T\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_p = H$$

ou ainda

$$\left(\frac{\partial \frac{F}{T}}{\partial T}\right)_p = -\frac{H}{T^2}$$

Se a pressão for constante a derivada parcial pode ser substituída por uma derivada total, e, integrando, vem:

$$F = -T\int\frac{H}{T^2}\,dT + CT$$

sendo C uma constante.

Consideremos agora uma transformação do sistema, correspondente à reacção química

$$\sum_u a_u\,A_u \rightarrow \sum_i b_i\,B_i$$

sendo a_u e b_i os números de moléculas dos componentes A_u e B_i. Se forem F_u e F_i as energias livres dos reagentes e dos produtos da reacção a variação de energia livre ΔF será

$$\Delta F = F_i - F_u =$$

$$= -T\int\frac{H_i - H_u}{T^2}\,dT + (C_i - C_u)\,T =$$

$$= -T\int\frac{\Delta H}{T^2}\,dT + CT \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

fazendo $H_i - H_u = \Delta H$ e $C_i - C_u = C$.

As energias livres F_i e F_u não precisam de ser calculadas à mesma pressão e, portanto, a expressão obtida é absolutamente geral. Assim, por exemplo, se conhecermos ΔF a uma dada temperatura para a transformação de uma mole de um líquido a uma atmosfera em uma mole de vapor a 10 atmosferas, a equação permite achar ΔF para análoga transformação a outra temperatura, visto que é possível determinar a constante C.

Suponhamos, no entanto que a reacção se efectua a pressão constante; nesse caso, como

se sabe, a variação de entalpia é igual à variação da quantidade de calor; representando esta como negativa, por uma questão de conveniência, vem

$$\Delta H = -\Delta Q = -\Delta Q_o + \int \left(\sum_i b_i C_{p_i} - \sum_u a_u C_{p_u}\right) dT = \Delta H_o + \int \Delta C_p \, dt \quad (3)$$

sendo ΔH_o a constante de integração e $\Delta C_p = \sum_i b_i C_{p_i} - \sum_u a_u C_{p_u}$ (C_{p_i} e C_{p_u} são os calores específicos a pressão constante dos produtos e reagentes da reacção).

Substituindo (3) e (2) vem

$$\Delta F = \Delta H_o - T \int \frac{\int \Delta C_p \, dT}{T^2} dT + CT \ldots \quad (4)$$

Por outro lado, é sabido que o volume específico é dado por

$$v = \left(\frac{\partial F}{\partial p}\right)_T$$

Integrando, a temperatura constante, vem

$$F = F^o + \int v dp$$

No caso dos gases perfeitos é $v = \frac{RT}{p}$, e

$$F = F^o + RT \log p$$

Se os gases não forem perfeitos há que entrar com a correcção de volume que consiste em substituir v por (v — b) sendo b o covolume (esta correcção é a mesma nalgumas equações de estado mais usuais — van der Waals, Clausius, Jeans — Dieterici).

Desprezando a correcção do termo da pressão, vem

$$p(v - b) = RT$$

ou

$$v = \frac{RT}{p} + b$$

Portanto, a energia livre para um gás real passa a ser

$$F = F^o + \int \left(\frac{RT}{p} + b\right) dp = F^o + RT \log p + \int b dp = F^o + RT \log f$$

definindo f (fugacidade) pela relação

$$RT \log f = RT \log p + \int b dp$$

Duma maneira geral, podemos fazer

$$F = F^o + \int v dp = F^o + RT \log f$$

em que

$$RT \log f = \int v dp = \int v' \, dp + \int (v - v') \, dp$$

ou

$$RT \log f = RT \log p + \int v - v') \, dp$$

sendo v o volume específico real e v' o volume específico que o gás teria se fosse perfeito (RT/p).

Consideremos de novo a reacção anterior e seja, num estado de referência (para o qual f = 1)

$$\Delta F^o = F_i^o - F_u^o$$

Será

$$\Delta F - \Delta F^o = (F_i - F_u) - (F_i^o - F_u^o) = \sum_i b_i (F_{B_i} - F_{B_i}^o) - \sum_u a_u (F_{A_u} - F_{A_u}^o) = RT \left(\sum_i b_i \log f_i - \sum_u a_u \log f_u\right)$$

Aquela expressão pode ainda escrever-se

$$\Delta F - \Delta F^o = RT \left(\sum_i \log f_i^{b_i} - \sum_u \log f_u^{a_u}\right) = RT \log \frac{\pi_i f_i^{b_i}}{\pi_u f_u^{a_u}}$$

representando por o π o produto dos termos que se lhe seguem.

Se a reacção considerada tiver atingido o equilíbrio a temperatura e pressão constante é sabido que

$$\Delta F = 0$$

e portanto

$$\Delta F^o = -RT \log \frac{\prod_i f_i^{b_i}}{\prod_u f_u^{a_u}} = -RT \log K_f \quad (5)$$

sendo K_f a constante de equilíbrio em função das fugacidades. Quando se trata de gases perfeitos vem

$$K_f = K_p = \frac{\prod_i p_i^{b_i}}{\prod_u p_u^{a_u}} \quad \ldots \quad (6)$$

sendo p_i e p_u as pressões parciais.

Mas, de acordo com a equação (4) vem

$$\log K_f = -\frac{\Delta H_o}{RT} + \int \frac{\int \Delta C_p \, dT}{RT^2} dT - \frac{C}{R} \quad \ldots \quad (7)$$

Da expressão (6) tira-se

$$K_p = \frac{\prod_i p_i^{b_i}}{\prod_u p_u^{a_u}} = p^{\Sigma (b_i - a_u)} \frac{\prod_i \left(\frac{p_i}{p}\right)^{b_i}}{\prod_u \left(\frac{p_u}{p}\right)^{a_u}} =$$

$$= p^{\Delta n} K_c \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (8)$$

em que p é a pressão total, Δn a diferença entre o número de moléculas dos produtos da reacção e dos reagentes e K_c a constante de equilíbrio em função das concentrações.

Eliminando K_p entre (7) e (8), no caso dos gases perfeitos, vem

$$\log K_c = -\frac{\Delta H_o}{RT} + \int \frac{\int \Delta C_p \, dT}{RT^2} dT - \Delta n \log p - \frac{C}{R} \quad \ldots \quad (9)$$

Combinando (2) com (5) e (8)

$$\log K_f = \int \frac{\Delta H}{RT^2} dT - \frac{C}{R} \quad \ldots \ldots \quad (10)$$

$$\log K_c = \int \frac{\Delta H}{RT^2} dT - \Delta n \log p - \frac{C}{R} \quad . \quad (11)$$

As expressões (7) a (11) permitem, qualquer delas, calcular a constante de equilíbrio uma vez conhecida a constante de integração. Notemos que, se o calor da reacção não variar muito com a temperatura a expressão (3) dá

$$-\Delta Q_o = \Delta H$$

e as fórmulas (10) e (11) são de integração imediata

$$\log K_f = \frac{\Delta Q_o}{RT} - \frac{C}{R} \quad . \quad . \quad (10')$$

$$\log K_c = \frac{\Delta Q_o}{RT} - \Delta n \log p - \frac{C}{R} \quad . \quad (11')$$

Finalmente, recordemos que da expressão (8) se pode tirar a lei de Le Chatelier segundo a qual sendo o número de moléculas do segundo membro da reacção inferior ao do primeiro, por um aumento da pressão o equilíbrio desloca-se no sentido do primeiro para o segundo membro.

Derivando (11') obtem-se

$$\frac{\partial \log Kc}{\partial T} = -\frac{\Delta Q_o}{RT^2}$$

donde resulta a lei de van t'Hoff: se a reacção é exotérmica uma diminuição de temperatura desloca o equilíbrio do primeiro para o segundo membro.

A fugacidade f_i dum componente numa mistura de gases determina-se a partir da fugacidade f_i^o do componente puro pela relação experimental

$$f_i = f_i^o \, x_i \quad \ldots \ldots \quad (12)$$

onde x_i é a fracção molar do constituinte i.

Definem-se coeficientes de fugacidade pela expressão

$$\gamma_i = \frac{f_i^o}{p} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (13)$$

Eliminando f_i^o

$$f_i = x_i \, \gamma_i \, p \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (14)$$

Substituindo na expressão de K_f

$$K_f = \frac{\prod_i f_i^{b_i}}{\prod_u f_u^{a_u}} = \frac{\prod_i \gamma_i^{b_i}}{\prod_u \gamma_u^{a_u}} \cdot \frac{\prod_i x_i^{b_i}}{\prod_u x_u^{a_u}} \cdot p^{\Delta n}$$

ou

$$K_f = p^{\Delta n} \frac{\prod_i \gamma_i^{b_i}}{\prod_u \gamma_u^{a_u}} K_x = p^{\Delta n} K_\gamma \, K_x \quad . \; . \quad (15)$$

em que K_x é a constante de equilíbrio em função das fracções molares e K_γ a relação dos produtos de coeficientes de fugacidade dos produtos e reagentes, levantados aos respectivos expoentes.

Nestas condições podemos, no caso dos gases serem reais, substituir o valor de K_f tirado de (7) em (15) e determinar a constantes de equilíbrio K_x desde que sejam conhecidos os coeficientes de fugacidade.

Estes determinam-se como segue

$$v = \left(\frac{\partial F}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial \log f}{\partial p}\right) RT \quad . \; . \quad (16)$$

No caso dos gases reais uma das equações de estado mais usadas consiste em conservar a expressão formal dos gases perfeitos introduzindo um coeficiente C, designado por «coeficiente de compressibilidade»

$$p^v = C \, R \, T \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (17)$$

Trabalhos experimentais diversos [13] [14] mostram que o valor de C é, para todos os gases, dado univocamente em função das temperaturas e das pressões reduzidas, difinidas pelas relações

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad \text{(temperatura reduzida)}$$

$$p_r = \frac{p}{p_c} \quad \text{(pressão reduzida)}$$

sendo T_c e p_c a temperatura e pressão críticas.

Eliminando v entre (16) e (17) vem

$$\left(\frac{\partial \log f}{\partial p}\right)_T = \frac{C}{p}$$

ou

$$d \log f = C \frac{dp}{p} = C d \log p$$

Por outro lado, para uma molécula

$$d \log \gamma = d \log \frac{f}{p} = (C - 1) \, d \log p -$$

$$= (C - 1) \, d \log p_r$$

ou

$$\log \gamma = \int_0^{p_r} \frac{C - 1}{p_r} \, dp_r \quad . \; . \; . \quad (18)$$

Para qualquer par de valores (T_r, p_r) a expressão (18) permite achar o coeficiente γ, existindo ábacos para este efeito [12] a seguir reproduzidos (fig. 1 e 2)

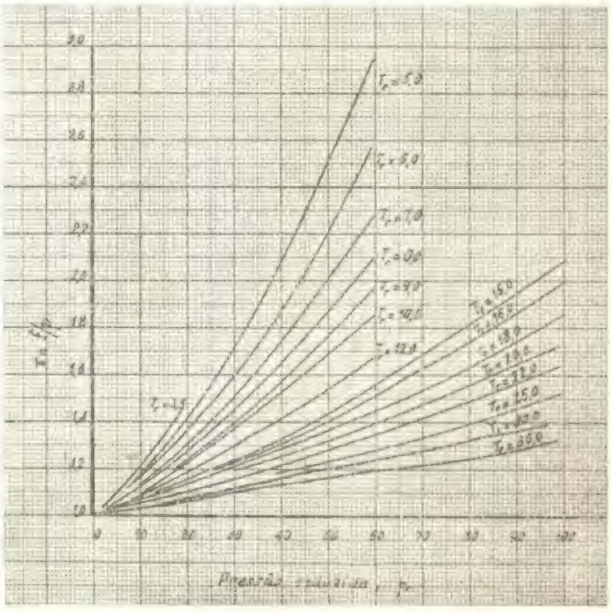


Fig. 1

Finalmente, para cada reacção, é possível construir um ábaco dando K_γ em função de T_r e p_r.

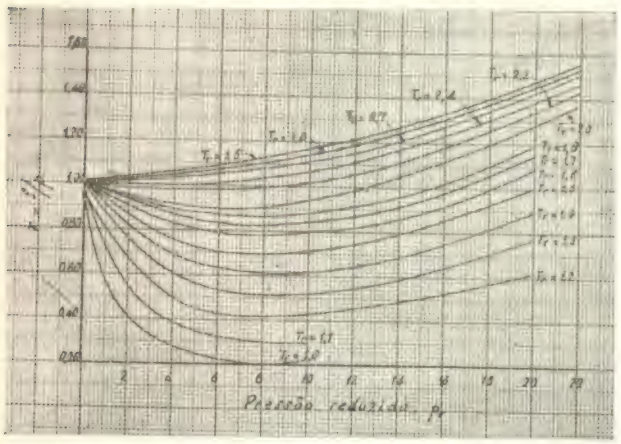


Fig. 2

Outro método, devido a Gillespie e Beattie, de calcular K_f consiste em exprimir K_γ por intermédio duma equação de estado. Assim, segundo (15) é:

$$K_f = p^{\Delta n} K_\gamma K_x = K_p K_\gamma$$

com

$$K_\gamma = \prod_i \gamma_i^{b_i} / \prod_u \gamma_u^{a_u} = \prod_i \gamma_i^{\nu_i}$$

$$\nu_i = b_i, - a_u$$

Mas

$$\log \gamma_i = \int_0^p \frac{C-1}{p} dp \quad \text{com} \quad C = \frac{pv_i}{RTn_i}$$

sendo v_i o volume de n_i moles de gás à pressão p e temperatura T.

Logo:

$$\log \gamma_i = \int_0^p \left(\frac{pv_i}{TRn_i} - 1\right) / p \, dp$$

e

$$RT \log \gamma_i = \int_0^p \left(\frac{v_i}{n_i} - \frac{RT}{p}\right) dp$$

Donde

$$RT \log \left(\frac{K_p}{K_f}\right) =$$

$$= - RT \log K_\gamma = \sum_i \nu_i \int_0^p \left(\frac{RT}{p} - \frac{v_i}{n_i}\right) dp$$

A expressão anterior integra-se aproximadamente por uma equação de estado devida a Beattie e Bridgman [55] [58]:

$$pv^2 = RT \left[v + B_o \left(1 - \frac{b}{v}\right)\right] \left(1 - \frac{c}{vT^3}\right) -$$

$$- A_o \left(1 - \frac{a}{v}\right) \quad . \; . \; . \; . \quad (19)$$

sendo B_o, b, c, A_o, as constantes para cada gás.

A integração, morosa, pode efectuar-se ou exprimindo no integral p em função de v, T, ou desenvolvendo a equação de Beattie e Bridgman em função das potências de p desprezando as potências superiores à primeira. O resultado é [57]:

$$\log \frac{K_p}{K_f} = = \left\{\sum_i \left[\nu_i (B_{o_i} - A_{o_i} / RT - C_i / T^3)\right] + \right.$$

$$\left. + \sum_i \left[\nu_i \left(A_{o_i}^{1/2} - \sum_i x_i A_{o_i}^{1/2}\right)^2 / RT\right]\right\} p/RT \quad (20)$$

sendo x_i as fracções molares na mistura gasosa. Os valores das constantes foram calculados por Beattie e Bridgman [55] [56] e ainda por Derring e Shupe [58]. Os que nos interessam são:

TABELA I

Gas	A_o	B_o	C
H_2	0,1975	0,02096	$0,0504 \times 10^4$
N_2	1,3445	0,05046	$4,20 \times 10^4$
A	1,2907	0,3931	$5,99 \times 10^4$
NH_3	2,3930	0,3415	$476,87 \times 10^4$

Lembremos ainda que, de acordo com o 3.º princípio da termodinâmica é (*)

$$H = H_o + \int_a^b dH = H_o + \int_{298,1}^{T} C_p \, dT$$

$$S = S_o + \int_{298,1}^{T} \frac{C_p \, dT}{T}$$

H_o = entalpia absoluta a 298,1° K

S_o = entropia absoluta a 298,1° K

sendo a, b, os limites dos integrais correspondentes às temperaturas extremas.

À temperatura T, para o estado de referência é

$$\Delta F^o = \Delta H^o - T \Delta S^o = \Delta H_o + \Delta \int_{298,1}^{T} C_p \, dT - T \Delta S_o - T \Delta \int_{298,1}^{T} \frac{C_p \, dT}{T}$$

logo

$$\log K_f = -\frac{\Delta F^o}{RT} = -\frac{\Delta H_o}{RT} - \frac{1}{RT} \Delta \int_{298,1}^{T} C_p \, dT + \Delta \frac{1}{R} \int_{298,1}^{T} \frac{C_p \, dT}{T} + \frac{\Delta S_o}{R}$$

ou (**)

$$\log K_f = -\frac{\Delta H_o}{RT} + \int_{298,1}^{T} \frac{\int_{298,1}^{T} \Delta C_p \, dT}{RT^2} \, dT + \frac{\Delta S_o}{R}$$

Comparando esta expressão com (7) vê-se que o conhecimento das entropias absolutas permite calcular a constante de equilíbrio sem necessidade de recorrer a valores experimentais para fixar o valor da constante de integração em (7). Existem métodos diversos que permitem calcular entropias absolutas (medição dos cálores específicos até às baixas temperaturas, medidas espectroscópicas, calculos estatísticos) a partir dos quais se elaboram tabelas[15].

O método mais recente de determinar as constantes de equilíbrio consiste em calcular directamente $\Delta F^o/RT$ para diversas temperaturas. Para este efeito usa-se a seguinte expressão

$$\Delta F_T^o = F_i^o - F_u^o = \Sigma \left(F_T^o - F_o^o + \Delta F_o^o\right)_i - \Sigma \left(F_T^o - F_o^o + \Delta F_o^o\right)_u = \Sigma \left(F_T^o - H_o^o + \Delta H_o^o\right)_i - \Sigma \left(F_T^o - H_o^o + \Delta H_o^o\right)_i$$

em que i se refere aos produtos, u aos reagentes, ΔF_T^o é a energia livre correspondente às reacções à tempertura T; ΔF_o^o a energia livre de formação a O°K. Deve notar-se que, a O°K é

$$F_o^o = H_o^o - TS_o^o = H_o^o$$

e

$$\Delta F_o^o = \Delta H_o^o - T \Delta S_o^o = \Delta H_o^o$$

$$T = 0$$

Da expressão anterior tira-se

$$\left(\frac{\Delta F^o}{T}\right)_T = \Sigma \left(\frac{F_T^o - H_o^o}{T} + \frac{\Delta H_o^o}{T}\right)_i - \Sigma \left(\frac{F_T^o - H_o^o}{T} + \frac{\Delta H_o^o}{T}\right)_u$$

As expressões $\frac{F_T^o - H_o^o}{T}$ e ΔH_o^o são dadas directamente em tabelas[15] para as diversas substâncias e a várias temperaturas, a 1 atmosfera.

Deve ter-se presente ao efectuar aplicação das fórmulas (7) a (11) que o calor específico a pressão constante varia com o valor da pressão. Em virtude da falta de valores experimentais usam-se quase sempre os calores específicos a 1 atmosfera. Na região das altas temperaturas mesmo a

---

(*) No caso de haver mudança de estado entre as temperaturas 298,1 e T será, por exemplo:

$$\int_{298,1}^{T} C_p \, dT = \int_{298,1}^{T_1} C_p \, dT + Q + \int_{T_1}^{T} C_p \, dT$$

sendo Q o calor latente à temperatura T_1.

(**) Para verificar a transformação integra-se $\int_{298,1}^{T} \frac{\Delta C_p \, dT}{RT}$ por partes.

elevadas pressões o erro não será grande, mas aumentará à medida que se consideram temperaturas mais baixas. Nos métodos das fugacidades ou no de Beattie e Gillespie convirá usar os valores dos calores específicos correspondentes ao estado ideal ($p \to 0$) nas expressões (7) a (11) fazendo-se a correcção da pressão por intermédio das expressões (15) ou (20).

2 — Aplicação e valores experimentais

Visto a reacção da síntese do amoníaco

$$\tfrac{1}{2} N_2 + 3/2\ H_2 \rightleftarrows NH_3 \text{ (gasoso)} + \Delta Q$$

se dar com uma diminuição de volume gasoso é evidente que um aumento de pressão elevará a percentagem de amoníaco no equilíbrio.

O estudo desta variação, sob o ponto de vista que nos interessa, foi iniciado por Haber e van Oordt [1] a 1 atmosfera e 1000° C, obtendo-se apenas vestígios de amoníaco.

As observações foram sucessivamente continuadas por Haber e Le Rossignol [2] (1 atm., 700° C a 1000° C), Nernst [3] e Jost [4] (72 atmosferas), Haber e Le Rossignol [5] (30 atmosferas) em 1908. Em 1914 Haber et al. [6] alargaram o domínio das suas experimentações até 516° C e 30 atm. Em 1919 [9] Claude efectuou as primeiras experiências a altas pressões. Em 1923 Larson [7][8] e Dodge [7] realizaram observações de 500° C a 350° C, de 10 a 1000 atm. São estas últimas experiências que hoje em dia se consideram como mais precisas. Acima de 1000° C Maxted [10] tentou extraplorar os valores de Haber; as suas conclusões foram posteriormente invalidadas.

A partir dos dados de Haber et al. (até 1915) Lewis e Randall [11] (1923) determinaram como segue a constante de equilíbrio da reacção (*)

$$\tfrac{1}{2} N_2 + 3/2\ H_2 \rightleftarrows NH_3 \text{ (gasoso)}$$

Calores específicos [6] (calorias/mole)

$$C_p\ (NH_3) = 8{,}04 + 0{,}0007 + 0{,}0000051\ T^2$$
(válido de 300° K a 800° K)

(*) Deve notar-se que os sucessivos investigadores realizaram cálculos deste género.

$$C_p\ (N_2) = 6{,}50 + 0{,}0009\ T$$
$$C_p\ (N_2) = 6{,}50 + 0{,}0010\ T$$
(válido de 300° K a 3000° K)

Será então (*)

$$\Delta C_p = C_p\ (NH_3) - 3/2\ C_p\ (H_2) - \tfrac{1}{2}\ C_p\ (N_2) = -4{,}96 - 0{,}00115\ T + 0{,}0000051\ T^2$$

O calor de formação do amoníaco a 18° C é 11.000 cal/mole.

A equação (3) dá

$$11.000 = -\Delta H_0 - \int \Delta Cp\, dT = -\Delta H_0 + 4{,}96 \times 291 + \frac{0{,}00115}{2} \times 291^2 - \frac{0{,}0000051}{3}\, 291^3$$

donde

$$\Delta H^o = -9559 \text{ cal/mole}$$

Repetindo este cálculo para várias temperaturas determina-se um valor médio da constante de integração $\Delta H_0 = -95.00$ cal/mole.

A expressão (4) dá então

$$\Delta F^o = -9500 + 4{,}96\ T \log T + 0{,}000575\ T^2 - 0{,}00000085\ T^3 - CT = -RT \log K_p = -RT \log K_c + RT \log p$$

Para determinar o valor constante C tem de recorrer-se a valores experimentais. Representando os valores de $\log K_p$ obtidos a partir das experiências de Haber et al. em função $\frac{1}{T}$ obtém-se aproximadamente uma linha recta (conforme era de prever pela fórmula 10') que é bem representada fazendo na equação anterior $C = -9{,}61$. Será, então

$$\log K_c = \frac{9500}{RT} - \frac{4{,}96}{R} \log T - \frac{0{,}000575}{R}\, T + \frac{0{,}85 \times 10^{-6}}{R}\, T^2 + \frac{9{,}61}{R} + \log p$$

(*) Mais recentemente adoptou-se a expressão $C_p\ (H_2) = 6{,}62 + 0{,}00081\ T$ (válido entre 273° K 2500° K) vindo então $\Delta C_p = -5{,}14 - 0{,}00103\ T + 0{,}000051\ T^2$.

Para R = 1,986847 cal / mole / °K vem

$$\log K_c = \frac{4800}{T} - 2{,}51 \log T - 0{,}000291\ T + $$
$$+ 0{,}00000043\ T^2 + 4{,}86 + \log p$$

ou

$$\log_{10} K_c = \frac{2080}{T} - 2{,}51 \log_{10} T - 0{,}000126\, T +$$
$$+ 0{,}000000187\ T^2 + 2{,}11 + \log_{10} p \quad . \ . \ . \quad (21)$$

Pode confrontar-se esta fórmula com a de Nernst, que resume as experiências de Haber

$$\log_{10} K_p = \frac{2080}{T} - 2{,}6088 \log_{10} T -$$
$$- 0{,}0001006\ T + 1{,}86 \times 10^{-7}\ T^2 + 2{,}1$$

ou ainda com a fórmula de Maxted

$$\log_{10} K_p = \frac{2098}{T} - 2{,}806 \log_{10} T -$$
$$- 0{,}000932\ T + 1{,}46 \times 10^{-7}\ T^2 + 2{,}85$$

A fórmula de Lewis e Randall só acompanha os valores experimentais até cerca de 30 atmosferas. Se, na dedução da fórmula de Lewis e Randal tivéssemos usado a expressão (15) teríamos obtido

$$\log_{10} K_x = \frac{2080}{T} - 2{,}51 \log_{10} T -$$
$$- 1{,}26 \times 10^{-4}\ T + 1{,}87 \times 10^{-7}\ T^2 +$$
$$+ 2{,}11 \log p - \log_{10} K\gamma$$

onde $K\gamma$ depende da pressão e da temperatura. É deste tipo a fórmula de Larson e Dodge, que resume as experiências daqueles autores

$$\log_{10} K_c = \frac{2074{,}8}{T} - 2{,}4943 \log_{10} T -$$
$$- \gamma\ T + 0{,}1856 \times 10^{-6}\ T^2 + \delta \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (22)$$

dependendo γ e δ da pressão. Compreende-se que pelo menos um dos coeficientes das potências de T dependa da pressão, visto que os calores específicos a pressão constante dependem do valor da pressão.

Os valores experimentais condensados na fórmula 22 são os da tabela II e (fig. 3).

TABELA II

% NH_3 no equilíbrio

Temp. °C	Pressão em atmosferas						
	10	30	50	100	300	600	1000
200	50,66	67,56	74,38	81,54	89,94	95,37	98,29
250	28,34	47,22	56,33	67,24	81,38	90,66	96,17
300	14,73	30,25	39,41	52,04	70,96	84,12	92,55
350	7,41	17,78	25,23	37,35	59,12	75,62	87,46
400	3,85	10,15	15,27	25,12	47,00	65,20	79,82
450	2,11	5,86	9,15	16,43	35,82	53,71	69,69
500	1,21	3,49	5,56	10,61	26,44	42,15	57,47
550	0,76	2,18	3,45	6,82	19,13	31,63	41,16
600	0,49	1,39	2,26	4,52	13,77	23,10	31,43
650	0,33	0,96	1,53	3,11	9,92	16,02	20,07
700	0,23	0,68	1,05	2,18	7,78	12,60	12,87

Vejamos a expressão que se obtém a partir do teorema de Nernst.

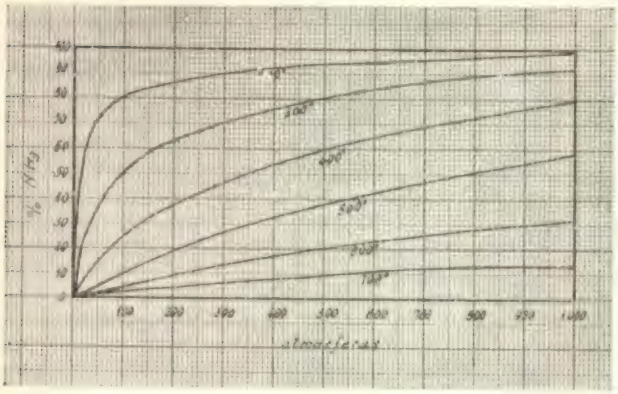


Fig. 3

A 298,1 °K e 1 atmosfera as entropias absolutas são [15]

$$S_o\,(N_2) = 45{,}79 \text{ cal/mole/ °K}$$
$$S_o\,(H_2) = 31{,}23 \quad »$$
$$S_o\,(NH_3) = 46{,}03 \quad »$$

$$\Delta S_o = S_o\,(NH_3) - 3/2\, S_o\,(H_2) - {}^1/_2\, S_o\,(N_2) =$$
$$= 46{,}03 - {}^1/_2 \,.\, 45{,}79 - 3/2 \,.\, 31{,}23 = 23{,}72$$

$$\log K_p = -\frac{\Delta H_o}{RT} - \frac{1}{RT}\,\Delta\int_{298,1}^{T} C_p\, dT +$$
$$+ \Delta\,\frac{1}{R}\int_{298,1}^{T}\frac{C_p\, dT}{T} + \frac{\Delta S_o}{R} =$$
$$= -\frac{9500}{1{,}98\,T} - \frac{1}{1{,}98\,T}\,.$$
$$.\left(-4{,}96\,T - 1{,}15\,\frac{10^{-3}}{2}\,T^2 + \right.$$
$$\left. + \frac{5{,}1}{3}\cdot 10^{-6}\,T^3\right) + \frac{1}{1{,}98 \times 298{,}1}$$
$$\left(-4{,}96 \times 298{,}1 - 1{,}15\,\frac{10^{-3}}{2}\,298{,}1^2 + \right.$$
$$\left. + \frac{5{,}1}{3}\,10^{-6}\,.\,298{,}1^3\right) + \frac{1}{1{,}98}$$
$$\left(-4{,}96 \log T - 1{,}15\,.\,10^{-3} + \right.$$
$$\left. + 5{,}1\,.\,10^{-6}\,\frac{T^2}{2} + 4{,}96 \log 298{,}1 + \right.$$
$$+ 1{,}15\,.\,10^{-3}\,.\,298{,}1 - 5{,}1\,.$$
$$\left.\,.\,10^{-6}\,\frac{298{,}1^2}{2}\right) - \frac{23{,}72}{1{,}98}$$

Ou

$$\log_{10} K_p = \frac{2080}{T} - 2{,}51 \log_{10} T - 1{,}26 \times$$
$$\times 10^{-4} + 0{,}187 \times 10^{-6}\, T^2 + 2{,}58$$

Nesta fórmula o termo independente 2,58 é a comparar com os valores 2,11 de Lewis, 2,1 de Haber e 2,85 de Maxted.

Querendo determinar pelo cálculo o valor da concentração de amoníaco a pressões elevadas procede-se como segue.

Sejam as condições

$$t = 450°\ C$$
$$p = 700 \text{ atm.}$$

Da fórmula (21) se tira

$$\log_{10} K_f = \frac{2080}{723} - 2{,}51 \log_{10} 723 - 0{,}000126 \times$$
$$\times 723 + 0{,}000000187\ (723)^2 + 2{,}11$$

ou

$$K_f = 0{,}007 \qquad (+)$$

As condições reduzidas são

	p_c atm	T_c °K	$T_r = \frac{700}{p_c}$	$T_r = \frac{723}{T_c}$	γ
H_2	33,5	126	20,9	5,74	1,38
H_2	12,8	33,3	33,6 (*)	17,5 (*)	1,22
NH_3	111,5	405,6	6,27	1,78	0,86

(*) Para o hidrogénio as condições reduzidas são mais aproximadamente dadas por $p_r = \frac{p}{p_c + 8}$ $T_r = \frac{T}{p_c + 8}$

(+) Deve notar-se que este valor corresponde a p = 1 e não a p = 0 como seria de desejar. A diferença é, no entanto, pequena. A fórmula (21) dá $K_f = 0{,}00687$ e a fórmula (23) do caso ideal dá $K_f = 0{,}00688$.

Os valores dos coeficientes de fugacidade tiram-se dos ábacos atraz reproduzidos. Será então

$$K_\gamma = \frac{\gamma\ NH_3}{\gamma\ N_2^{1/2} \times \gamma\ H_2^{3/2}} = \frac{0{,}86}{(1{,}38)^{1/2}\,(1{,}22)^{3/2}} = 0{,}55$$

Um cálculo análogo para os vários valores da pressão e temperatura dá o gráfico seguinte (fig. 4)

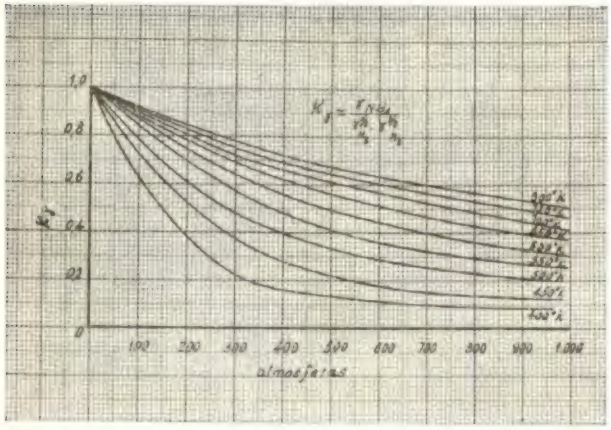


Fig. 4

De acordo com a fórmula (15)

$$K_f = 0{,}007 = p^{\Delta n}\, K_\gamma\, K_x = p^{-1} \times 0{,}55\ K_x =$$
$$= 0{,}55\ K_p$$

$$K_p = \frac{p_{NH_3}}{p_{N_2}^{1/2}\ p_{H_2}^{3/2}} = \frac{0{,}007}{0{,}55}$$

Mas

$$p_{H_2} + p_{N_2} + p_{NH_3} = 700$$

$$p_{H_2} = 3\ p_{N_2}$$

Donde

$$p_{N_2} = 1/4\ (700 - p_{NH_3})$$

$$p_{H_2} = 3/4\ (700 - p_{NH_3})$$

Substituindo

$$K_p = \frac{p_{NH_3}}{(1/4)^{1/2}\ (3/4)^{3/2}\ (700 - p_{NH_3})^2} = \frac{0{,}007}{0{,}55}$$

$$p_{NH_3} = 392 \text{ atm.}$$

$$\text{concentração } NH_3 = 100 \times \frac{392}{700} = 56\ \%$$

Querendo usar a expressão

$$K_f = p^{-1}\ 0{,}55\ K_N$$

vem, partindo de $^1/_2$ mole N_2 e $^3/_2$ moles H_2

$$N_{N_2} = 1/2 - 1/2\ x$$

$$N_{H_2} = 3/2 - 3/2\ x$$

$$N_{NH_3} = x$$

$$\Sigma N = 2 - x$$

Donde

$$K_N = \frac{x\ (2 - x)}{1{,}3 \times (1 - x)^2}$$

Substituindo

$$0{,}007 = 700^{-1} \times 0{,}55 \times \frac{x\ (2 - x)}{1{,}3\ (1 - x)^2}$$

$$x = 0{,}72$$

$$\text{concentração } NH_3 = 100\ \frac{x}{2 - x} = 56\ \%$$

Pode verificar-se que este valor coincide aproximadamente com os experimentais de Larson.

O método de Beattie e Gillespie aplica-se como segue.

Obtêm-se os valores experimentais da constante de equilíbrio a partir das experiências de Haber, Larson e Dodge. Seja x a fracção molar de amoníaco no equilíbrio, q, r as fracções molares de hidrogénio e azoto na mistura reagente, N, N' N'' os números inicial, no equilíbrio e desaparecido de moléculas, respectivamente. Notando que

$$x = N'_{NH_3} / \Sigma N' \qquad \Sigma N = \Sigma N' + N'_{NH_3}$$

$$N''_{N_2} = \frac{1}{2} N'_{NH_3} \qquad N''_{H_2} = \frac{3}{2} N'_{NH_3}$$

teremos sucessivamente

$$K_p = \frac{N'_{NH_3} / \Sigma N'}{(N'_{N_2} / \Sigma N')^{\frac{1}{2}} \; (N'_{H_2} / \Sigma N')^{\frac{3}{2}} \, p} =$$

$$= \frac{\frac{N'_{NH_3}}{\Sigma N'} / \left(1 + \frac{N'_{NH_3}}{\Sigma N'}\right)^2}{\left(\frac{N'_{N_2}}{\Sigma N' + N'_{NH_3}}\right)^{1/2} \left(\frac{N'_{N_2}}{\Sigma N' + N'_{NH_3}}\right)^{3/2} p} =$$

$$= \frac{x / (1+x)^2}{\left(\frac{N_{N_2} - N''_{N_2}}{\Sigma N' + N'_{NH_3}}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{N_{H_2} - N''_{H_3}}{\Sigma N' + N'_{NH_3}}\right)^{\frac{3}{2}} p} =$$

$$= \frac{x / (1+x)^2}{\left(r - \frac{1}{2} \frac{N'_{NH_3} / \Sigma N'}{1 + N'_{NH_3} / \Sigma N'}\right)^{\frac{1}{2}}} \times$$

$$\times \frac{1}{\left(q - \frac{3}{2} \frac{N'_{NH^3} / \Sigma N'}{1 + N'_{NH_3} / \Sigma N'}\right)^{\frac{3}{2}} p}$$

$$= \frac{x / (1+x)^2}{[r - x/2(1+x)]^{\frac{1}{2}} \; [q - 3\,x/2\,(1+x)]^{\frac{3}{2}} \, p} \quad (6')$$

No caso particular da mistura a 3 moles de hidrogénio para 1 mole de azoto será

$$K_p = \frac{4\,x}{[0{,}25 \,.\, 2(1+x) - x]^{\frac{1}{2}} \, [0{,}75 \,.\, 2(1+x) \;\; 3\,x]^{\frac{3}{2}} \, p} =$$

$$= \frac{x}{0{,}325\,(1-x)^2} \quad . \; . \; . \; . \quad (6'')$$

Conhecidos x , q , e r determina-se K_p para as diversas experiências de Haber, Larson e Dodge. Como estas experiências foram feitas com gases contendo 0,3 °/₀ A têm de incluir-se as constantes do Argo na fórmula (20), a partir da qual, conhecido K_p, se calcula K_f. Os valores de K_f assim obtidos para várias pressões e temperaturas são substituídos em (10).

Conforme já se disse, estes valores de K_f correspondem ao estado ideal e por isso os calores específicos a empregar em Δ H na expressão (10) deverão ser os correspondentes ao caso limite da pressão tender para zero. De

$$\frac{\partial C_p}{\partial p} = -T \frac{\partial^2 v}{\partial T^2}$$

vem

$$C_p = C_{p \to 0} - \int_0^p T \frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \, dp$$

Substituindo a integranda pela expressão calculada a partir da equação de Beattie Bridgman obtém-se [57]

$$C_p = C_{p \to 0} + \left(\frac{2\,A_0}{RT^2} + \frac{12\,c}{T^4}\right) p$$

A integração pode fazer-se desenvolvendo v nas potências de p e desprezando as potências superiores à primeira. Usando na expressão anterior os valores obtidos pelos diversos experimentadores obtém-se, em segunda aproximação:

$$C_{p \to 0} = R + A_i + B_i\,T + C_i\,T^2 \quad (R = 1{,}986847)$$

em que as constantes A_i, B_i e C_i têm os valores

TABELA III

Gas	A	10^3 B	10^3 C
H_2	4,66	0,70	0,00
N_2	4,82	0,33	0,05
NH_3	6,04	0,71	5,10

Com estas expressões de C_p se calcula, como atrás, para a fórmula de Lewis e Randall, o valor de ΔH. As duas constantes ΔH_0 e C são neste caso os valores que substituídos em log K_f dão os melhores resultados. Basta fazer um gráfico de log K_f em função de $\frac{1}{T}$, correspondendo em primeira aproximação C a uma ordenada

na origem e ΔH_o a um coeficiente angular. Obtém-se:

$$\log_{10} K_f = \frac{2001,6}{T} - 2,691122 \log_{10} T -$$

$$- 5,519265 \times 10^{-5} T + 1,848863 \times 10^{-7} T^2 +$$

$$+ 2,6899 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (23)$$

A expressão (20), uma vez substituídos os coeficientes referentes ao amoníaco, hidrogénio e azoto, dá:

$$\log \frac{K_p}{K_f} = \left[\frac{0,1191849}{T} + \frac{25122730}{T^4} + \right.$$

$$+ \frac{38,76816}{T^2} \sum_i \left(x_i A_{o_i}^{1/2} \right) +$$

$$\left. + \frac{64,49429}{T^2} \left(\sum_i x_i A_{o_i}^{1/2} \right)^2 \right] p \qquad (20')$$

Esta fórmula e a anterior permitem calcular para diversas pressões e temperaturas sucessivamente K_f, K_p e x.

b) Como não é possível determinar por (20') K_p sem conhecer a composição usa-se em primeira aproximação a expressão:

$$\log \frac{K_p}{K_f} = - \sum_i v_i \left(B_{o_i} - A_{o_i} / RT - \right.$$

$$\left. - C_i / T^3 \right) p / RT \quad . \; . \; . \quad (20'')$$

que corresponde, no caso da síntese do amoníaco a:

$$\log_{10} \frac{K_p}{K_f} = \left[\frac{0,1191849}{T} + \frac{91,87212}{T^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{25122730}{T^4} \right] p \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (20''')$$

c) A partir de K_p determina-se x por intermédio de (6')

d) Com este valor de x calcula-se um novo valor de K_p pela fórmula (20')

e) Com o valor corrigido de K_p acha-se um valor corrigido de x, para o que é cómodo usar a expressão:

$$\Delta x = \frac{2,3026 \; \Delta \log_{10} K_p}{\frac{1}{x} - \frac{2}{1+x} + \left[\frac{1}{1+x} \right]^2 \left[\frac{2,25}{q - 3x/2(1+x)} \right] + \frac{0,25}{r - x/2(1+x)}}$$

A comparação dos resultados calculados com os experimentais de Haber, Larson e Dodge mostra que o desvio médio de K_p é 1,16 % e o de x é 0,80 %. Como este número é inferior ao erro das determinações experimentais consideram-se as expressões de Beattie e Gillespie como dando os melhores valores numéricos da estática da síntese do amoníaco. Deve notar-se que os valores da tabela II foram calculados a partir da fórmula (22) de Larson e Dodge, por uma expressão aproximada e não pela expressão (6').

Para aplicar na prática as expressões de Beattie e Gillespie, procede-se como segue:

a) Dada a pressão e a temperatura calcula-se por (23) o valor de K_f

que resulta de (6') por diferenciação logarítmica.

No caso particular da mistura a 3 : 1 é:

$$\Delta x = \frac{2,3026 \; \Delta \log_{10} K_p}{\frac{1}{x} + \frac{2}{1+x} + \frac{4}{(1-x)^2}}$$

f) Repete-se o cálculo até dois valores de K_p não diferirem apreciàvelmente. Em geral bastam 3 aproximações.

Para exemplo vai-se calcular a percentagem de amoníaco no equilíbrio para uma mistura gasosa que comporta inicialmente 3 moles H_2: 1 mole N_2 ($r = 0,25$; $q = 0,75$) a 400° C e 1000 atm.

a) *Cálculo de K_f:*

Por (23):

$$\log_{10} K_f = \frac{2001,6}{673} - 2,691122 \log 673 -$$

$$- 5,519265.10^{-5} . 673 +$$

$$+ 1,848863 . 10^{-7} . 673^2 + 2,6869 = -$$

$$- 1,88865 = \bar{2},11135$$

donde:

$$K_f = 0,01291$$

b) *Calculo de K_p, 1.ª aproximação:*

Por (20‴):

$$\log_{10} \frac{K_p}{K_f} = \left(\frac{0,1191849}{673} + \frac{91,87212}{673^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{2522730}{673^4} \right) 1000 = 0,1771 + 0,2029 +$$

$$+ 0,01231 = 0,39231$$

donde:

$$\frac{K_p}{K_f} = 2,47$$

e

$$K_p = 2,47 \times 0,01291 = 0,03195$$

c) *Cálculo de x, 1.ª aproximação:*

Por (6″):

$$0,03195 = \frac{x}{0,325 (1 - x)^2 1000}$$

donde:

$$x = 0,7347$$

d) *Cálculo de K_p, 2.ª aproximação:*

Composição do gás:

$$x_{NH_3} = 0,7347$$

$$x_{N_2} = \frac{1}{4} (1 - x_{NH_3}) = 0,066325$$

$$x_{H_2} = \frac{3}{4} (1 - x_{NH_3}) = 0,198975$$

$$\Sigma x_i A_i^{\frac{1}{2}} = 0,066325 \times 1,3445^{\frac{1}{2}} + 0,198975 \times$$

$$\times 0,1975^{\frac{1}{2}} + 0,7347 \times 2,3930^{\frac{1}{2}} = 1,3013$$

$$(\Sigma x_i A_i^{\frac{1}{2}})^2 = 1,694$$

Por (20′):

$$\log \frac{K_p}{K_f} = \left(\frac{0,1191894}{673} + \frac{25122730}{673^4} + \right.$$

$$\left. + \frac{38,76816 \times 1,3013 + 64,49429 \times 1,694}{673^2} \right) \times$$

$$\times 10^3 = 0,54141$$

donde

$$\frac{K_p}{K_f} = 3,48$$

e

$$K_p = 3,48 \times 0,01291 = 0,0449$$

e) *Cálculo de x, 2.ª aproximação:*

Por (6″):

$$0,0449 = \frac{x}{0,325 (1 - x)^2 1000}$$

donde

$$x = 0,77$$

f) *Cálculo de K_p, 3.ª aproximação:*

Composição do gás:

$$x_{NH_3} = 0,77$$

$$x_{N_2} = 1/4 (1 - x_{NH_3}) = 0,0575$$

$$x_{H_2} = 3/4 (1 - x_{NH_3}) = 0,1725$$

$$\sum_i x_i A_i^{1/2} = 0,0575 \times 1,3445^{1/2} +$$

$$+ 0,1725 \times 0,1975^{1/2} \times 0,77 \times 2,393^{1/2} = 1,3343$$

$$(\Sigma x_i A_i^{1/2})^2 = 1,78$$

Por (20')

$$\log \frac{K_p}{K_f} = \left(\frac{0{,}1191849}{673} + \frac{25122730}{673^4} + \right.$$

$$\left. + \frac{38{,}76816 \times 1{,}3343 + 64{,}49249 \times 1{,}78}{673^2} \right) \times$$

$$\times 1000 = 0{,}56241$$

donde

$$\frac{K_p}{K_f} = 3{,}66$$

e

$$K_p = 3{,}66 \times 0{,}01291 = 0{,}0472$$

g) *Cálculo de x, 3.ª aproximação*

Por (6')

$$0{,}0472 = \frac{x}{0{,}325\ (1 - x)^2\ 1000}$$

donde

$$x = 0{,}775$$

No exemplo presente os coeficientes de fugacidade dão

$$K_\gamma = 0{,}39 \qquad K_p = \frac{0{,}01291}{0{,}39} \qquad x = 0{,}738$$

A fórmula de Larson e Dodge dá $x = 0{,}7982$ (tabela II).

O melhor valor numérico hoje em dia considerado é $100\ x = 77{,}5\ \%\ NH_3$ achado pelo método de Beattie e Gillespie.

Resumindo, podemos dizer que para valores aproximados quer a interpolação dos valores da tabela II, quer o método das fugacidades é suficiente, especialmente a baixas pressões. Para valores mais exactos, necessários, por exemplo, para o cálculo de convertidores tem de recorrer-se ao método de Beattie e Gillespie. Este método tem ainda a vantagem de poder incluir a influência dos gases inertes, sempre presentes no caso da prática.

(Continua)

L'écluse sans consommation d'eau[1]

PAR L. ROTHMUND

Professeur à l'école polytechnique de Stuttgart

C. D. 627.45

A Direcção da Técnica, *conhecedora do interesse da Tese apresentada ao Congresso Internacional de Navegação, resolveu dá-la ao conhecimento dos seus leitores.*

I. Les recherches entreprises jusqu'ici et leurs résultats

Depuis plus d'un demi-siècle, les ingénieurs hydrauliciens qui s'occupent de navigation fluviale rêvent de remplacer les écluses, dont l'exploitation consomme une certaine quantité d'eau, par des écluses qui n'en consomment point, et de remédier ainsi aux difficultés et aux sérieux inconvénients des écluses ordinaires: les possibilités d'application sont limitées; le remplissage et la vidange impliquent une longue durée des éclusages et par conséquent une perte de temps pour les bateaux à l'éclusage comme pour ceux qui attendent; ces remplissages et vidanges alternatifs nuisent à la stabilité des murs bajoyers et enfin, inconvénient qui n'est pas le moindre, la consommation d'eau porte préjudice à l'économie hydraulique du pays.

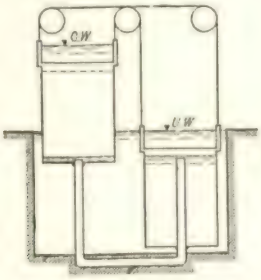


Fig. 1. Ecluse sans consommation d'eau. Système Schneider.
O. W. = bief supérieur
U. W. = bief inférieur

De nombreuses propositions[2] ont vu le jour, mais toutes souffrent du défaut de vouloir résoudre le problème en utilisant l'eau en régime alternatif. Précisons brièvement ce procédé au moyen de l'exemple le plus simple esquissé dans la figure 1: Deux bacs de même forme et de même poids, composés chacun d'une cuve ou sas à bateaux et d'une chambre d'eau reliée à la chambre de l'autre bac par un tube en U, flottent dans le bief inférieur; en faisant passer l'eau d'une chambre d'eau dans l'autre, on fait alternativement monter et descendre les bacs. Il faut pour cela faire intervenir des moteurs, mais leur cousommation d'énergie est faible. Aux élévateurs de Nierderfinow et Rothensee, construits en Allemagne entre 1927 et 1938 dans le cadre du programme d'aménagement des grandes voies navigables, on utilise pour des chalands de 1000 t des bacs de $85 \times 12 = 1020$ m^2 se déplaçant à une vitesse de 12 resp. 15 cm/sec. Si l'on admet ces vitesses et ces dimension, on peut calculer que, pendant le mouvement pendulaire des bacs, il faut parvenir à faire passer un débit de 120 resp. 150 m^3/ sec d'une chambre d'eau à l'autre, et réaliser em même temps un joint étanche entre les conduites et le fond des chambres.

Ces difficultés techniques presqu'insurmontables disparaissent d'un coup si l'on supprime le fond des chambres d'eau, pour les transformer en cloches à air, dans lesquelles l'air est emprisonné et maintenu sous pression par l'eau extérieure; les conduites de liaison débouchent alors librement dans l'air, sans dispositif d'étanchéité spécial. Le «transvasage» de 150 m^3 d'air par seconde et même davantage ne présente aucune difficulté, car, même avec des conduites de section relativement petite, la mise en mouvement de l'air n'exige qu'une faible dépense d'énergie.

(1) Voir «Schweizerische Bauzeitung» 1948, 66e année, no. 42, pages 573/80.

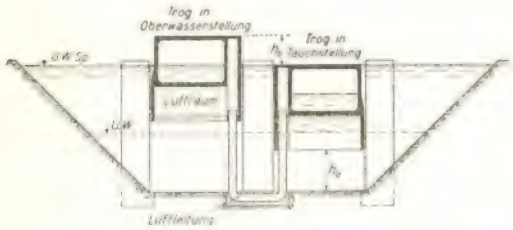
(2) Voir Rothmund «Schleusen ohne Wasserverbrauch». Publication de l'Ecole polytechnique de Stuttgart, 1929.

C'est ainsi que, du grand nombre de propositions qui ont été émises, s'est dégagée celle de l'écluse à mouvement alternatif d'air, sans consommation d'eau, telle qu'elle a été mise au point par l'auteur et que, dans l'état présent de la téchnique, on peut considérer, au point de vue économique et au point de vue technique, comme la véritable solution du problème.

Cette écluse peut être réalisée suivant deux variantes: soit avec des bacs flottant dans le bief supérieur (bacs amont) qui descendent sous l'eau pour atteindre leur position inférieure (fig. 2 et 3), soit avec des bacs flottant dans le bief inférieur (bacs aval) qui sortent progressivement de l'eau pour atteindre leur position supérieure (fig. 9 et 10). Dans les deux cas, nous la désignerons en abrégé par «écluse plongeante».

II. L'écluse plongeante à bacs amont

Le premier des deux types de construction, comportant des bacs flottant dans le bief supérieur, offre des avantages particuliers, parce qu'il présente naturellement le plus de sécurité et permet de vaincre n'importe quelle différence de niveau. Les figures 4, 5, 6 et 7 représentent la disposition d'une écluse plongeante pour une dénivellation de 40 m avec une marge de 1 m pour les variatons du niveau aval. Exposons brièvement les principes constructifs et le fonctionnement du système à l'aide de cet exemple: les deux bacs en béton armé flottent dans un puits, dont la profondeur est déterminée par la dénivellation de la voie navigable et auquel on peut donner une section rectangulaire s'il est exécuté dans un bon rocher, elliptique s'il se trouve dans un sol moins rêsistant. Pour donner à la cuve à bateaux une bonne résistance à la pression extérieure de l'eau, il est avantageux, pour les petites comme pour les grandes dénivellations, de remplacer la cuve rectangulaire visible dans la figure 2 par une cuve en forme de cylindre circulaire dont la moitié supérieure se trouve alternativement sous l'eau et hors de l'eau. De même, la cloche à air disposée sous la cuve est formée de deux quarts de cylindres dont les dimensions correspondent exactement à la partie de la cuve qui peut émerger. Le mouvement alternatif de plongée et de remontée des bacs qui sont reliés par les conduites d'air pendant la plongée — et seulement pendant celle-ci — s'obtient en fai-



F. 2. Ecluse plongeante à bacs amont pour faibles dénivellations. A gauche: bacs dans la position supérieure; à droite: bac plongeant.

Luftraum	= cloche à air
Trog in Oberwasserstellung	= bac dans la position supérieure
Trog in Tauchstellung	= bac plongeant

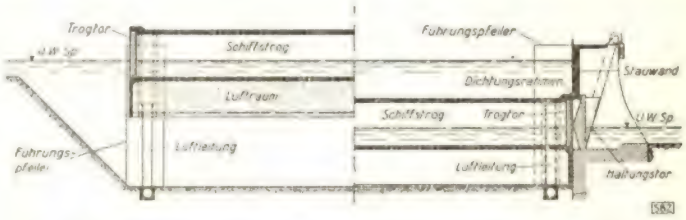


Fig. 3. Coupe longitudinale de l'écluse de la fig. 2. Au gauche: bac dans la position supérieure: à droite; bac dans la position inférieure.

Trogtor	= porte du bac
Schiffstrog	= bac
Luftraum	= cloche à air
Luftleitung	= conduite d'air
Führungspfeiler	= pilier de guidage
Dichtungarahmen	= cadres d'étanchété
Stauwand	= mur de retenue
Haltungstor	= porte d'écluse

Figures 2 et 3 d'après les propositions de l'auteur, faites en collaboration avec la «Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg»

H. PARRY & SON, L.DA

SEDE: 6, AV. 24 DE JULHO - LISBOA

Telef.: 64187 (4 Linhas) 66065
Teleg.: NAVIOS-LISBOA

CONSTRUÇÕES
E REPARAÇÕES
NAVAIS

DOCAS SECAS

Execução de qualquer trabalho de
mecânica, electricidade, fundição, caldeiraria, forja, soldadura, etc.

DESENHOS
PROJECTOS
ORÇAMENTOS

ACABA DE APARECER

Formulário de Matemáticas Gerais

Pelos Eng.cs *Fernando Jácome de Castro*
Afonso Rodrigues J. Fernandes

Livro de grande utilidade para técnicos, matemáticos e estudantes

contendo

MATEMÁTICAS ELEMENTARES
GEOMETRIA ELEMENTAR
TRIGONOMETRIA PLANA
ELEMENTOS DE ANÁLISE
E ÁLGEBRA SUPERIOR
GEOMETRIA ANALÍTICA
GEOMETRIA NO ESPAÇO
RESOLUÇÃO GRÁFICA DE
EQUAÇÕES

Preço 60$00

(Desconto de 10 % aos nossos assinantes)

EDIÇÃO DA TÉCNICA

Mais quilometragem
Mais comodidade
Mais segurança

O Novo
MABOR
GENERAL
SQUEEGEE

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada
(REGISTADO)

SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO
Rua de S. Tiago, 13
LISBOA
Telefone 26572

sant passer l'air sous pression de la cloche du bac descendant dans la cloche du bac remontant. Pendant cette manœuvre, la poussée ascensionnelle de l'eau sur le bac descendant diminue par le fait que l'air s'échappe, mais elle est compensée par la poussée d'Archimède sur la partie du bac qui s'immerge; de même, l'air qui pénètre dans le bac montant a pour effet d'augmenter la force ascensionnelle d'une quantité égale à la diminution de poussée d'Archimède, qui se produit au fur et à mesure que le bac sort de l'eau. La force ascensionnelle totale reste ainsi toujours la même et les bacs flottent constamment dans un état d'équilibre, qu'ils soient immergés ou qu'ils émergent.

Les conduites d'air ne peuvent être réalisées sous forme de tubes em U fixés rigidement au radier du bassin (fig. 2 et 3) que s'il s'agit de faibles dénivellations et de faibles variations du plan d'eau du bassin. Pour toutes les chutes d'une certaine hauteur et dans les cas où le niveau de l'eau subit d'importantes fluctuations, on recourt au système combiné de tubes en U fixes et mobiles représenté dans la figure 8. Aux quatre angles du bac, sur chaque moitié de la cloche à air, un tube en U renversé U_1 s'adapte dans une «tasse à eau» (Wt) réalisant une fermeture étanche à l'air; le tube est indépendant de la «tasse» et peut s'en séparer. Entre les deux bassins, un tube fixe U_2 est placé à des hauteurs correspondantes près de la tête amont et prés de la tête aval; la liaison des chambres intérieures (3) est réalisée au moyen des tubes en U renversés qui viennent coiffer chacune des branches verticales du tube fixe. Les chambres à air situés du côté des murs extérieurs des bassins sont reliées d'une manière analogue. La branche horizontale des tubes en U fixes doit alors traverser toute la largeur du bassin; elle est placée dans le revêtement des murs amont et aval (voir conduite L 3 dans la fig. 5). Les tubes renversés se séparent des «tasses» quand le bac est complètement immergé et les rencontrent à nouveau quand le bac remont.

On a trouvé ainsi pour la conduite d'air une solution universelle qui ne dépende que de la hauteur de la dénivellation et des variations éventuelles du plan d'eau amont, mais qui rend le bac indépendant de la position du plan d'eau aval; ce système est donc applicable à n'importe quelle hauteur d'écluse.

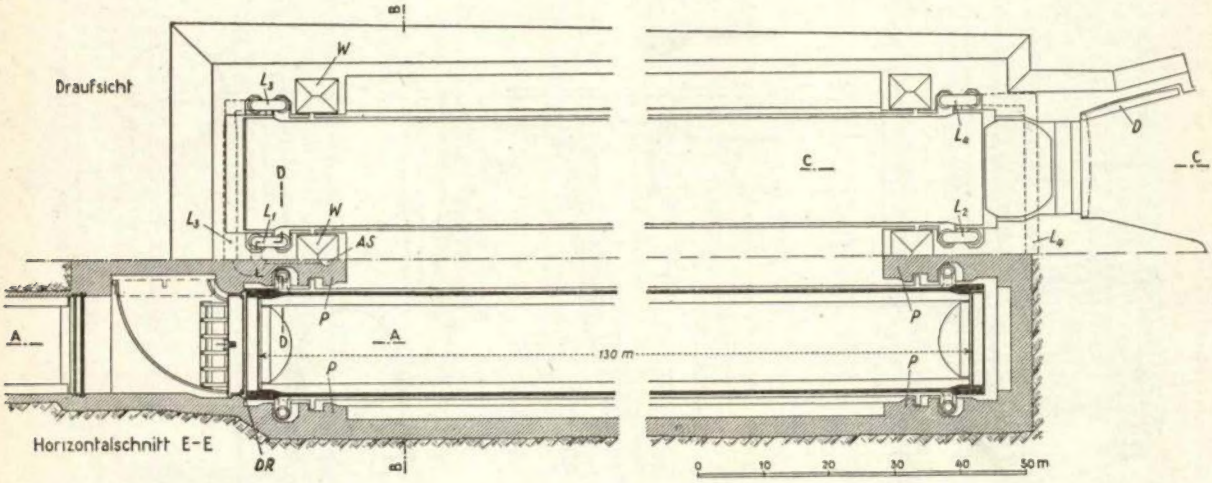


Fig. 4. Ecluse plongeante à bacs amont pour grandes dénivellations (40 m). D'après les propositions de l'auteur. En bas: coupe horizontale à la hauteur de l'axe du bac dans sa position intérieure. En haut: vue en plan. Echelle 1:1000. Légende: voir le texte

(3) C'est-à-dire des deux demi-cloches voisines situées de part et d'autre du mur de séparation des bassins (N. d. T.).

Le guidage horizontal et l'immobilisation des bacs s'effectuent au moyen de quatre treuils puissants (désignés par W dans la fig. 4) placés aux angles des bacs et reliés mécaniquement entre eux par des arbres disposés sur les quatre côtés du rectangle. Les bacs sont suspendus aux treuils par des crémaillères articulées. La force portante d'un bac étant constituée par la sous-pression qui agit uniformément en tous les points, la force motrice doit aussi s'appliquer uniformément sur toute la surface du bac. Cette condition est réalisée de la façon suivante: le bac montant arrive dans une position un peu trop basse et le bac descendant dans une position un peu trop élevée, ce qui équivaut pour le premier à un supplement de poids et pour l'autre à une diminution de poids, qui représentent la force motrice disponible pour la course suivante.

Le passage de l'écluse au niveau d'amont est des plus simples. Le bac flotte librement au niveau amont, sans qu'il soit nécessaire de le maintenir dans une position fixe; il suffit d'ouvrir la porte basculante K (4) visible sur la figure 6 et de la refermer après la sortie ou l'entrée du convoi de bateaux. Les freins sont alors libérés, le bac s'enfonce un peu sous l'effet de la petite surcharge constituant la force motrice et il est prêt pour la descente.

Parvenu au niveau d'aval, le bac s'applique contre le musoir aval; le contact et l'étanchéité sont assurés par deux cadres ajustés, l'un fixé au bac, l'autre à la tête d'écluse, autour de l'ouverture de communication avec le bief aval; le système est identique à celui d'une vanne de fond d'un barrage. L'eau emprisonnée dans le joint entre la porte du bac et celle de l'écluse est ensuite mise en communication avec l'aval au moyen d'un by-pass et les deux portes peuvent alors être ouvertes pour le passage du convoi. Par la détente de l'eau du joint, l'autre extrémité du bac se trouve seule soumise à la pression totale d'amont de l'eau du bassin, ce qui a pour effet d'appliquer le bac avec une très grande force contre le cadre d'étanchéité et d'assurer une complète isolation entre le bassin et le bief aval. La porte d'écluse est conçue comme une porte flottante tournante (H dans la fig. 5), calée contre le radier et le plafond de la chambre par des contre-fiches. La chambre est fermée à l'aval, du côté du petit tunnel de sortie, par une vanne plane

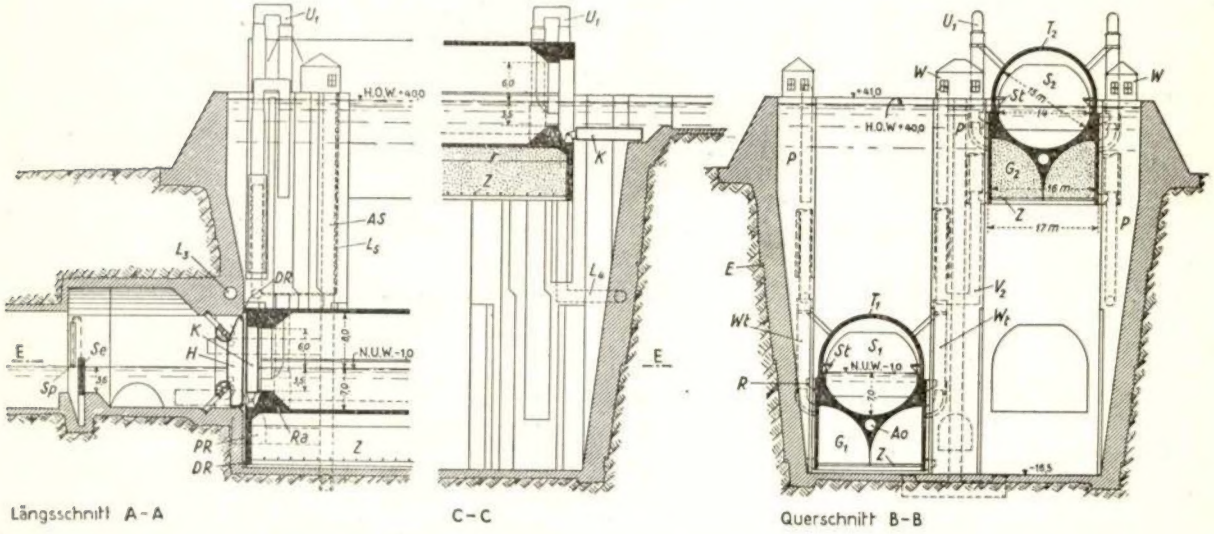


Fig. 5. Coupe longitudinale par A-A. Tête aval avec bac dans la position inférieure

Fig. 6. Coupe longitudinale par C-C. Tête amont avec bac dans la position supérieure

Fig. 7. Coupe transversale B-B de l'écluse fig. 4

(4) Au lieu d'une porte basculante on peut aussi utiliser avantageusement une vanne planne verticale s'effaçant vers le bas.

s'effaçant vers le bas, avec batardeau Sp. Cette vanne et la porte tournante D (fig. 4) permettent d'isoler en tout temps le bassin de l'écluse et de l'assécher rapidement au moyen d'une installation de pompage PR visible sur la fig. 5.

Après le passage du convoi à la tête aval de l'écluse on referme les portes du bac et du bassin; au moyen d'un by-pass reliant le bassin et le joint entre les portes, on rétablit la pression d'amont dans le joint, ce qui supprime la poussée unilatérale sur le

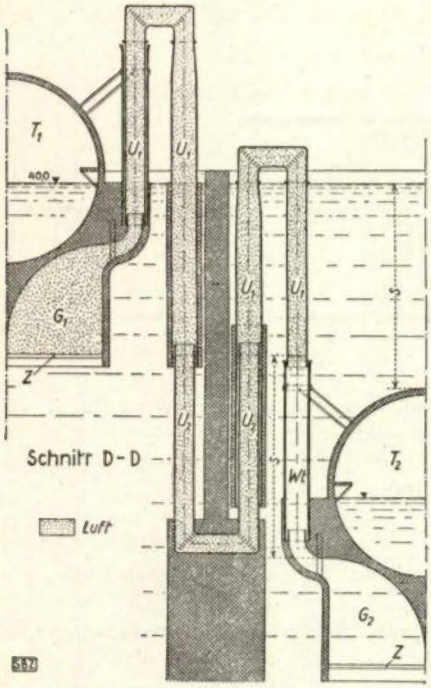


Fig. 8. Coupe schématique de la conduite d'air par D-D (fig. 4). Luft = air

bac; celui-ci, par suite de la sous-pression, commence à remonter et quand la génératrice supérieure de son toit atteint le niveau de l'eau, il met en mouvement avec une extraordinaire douceur l'autre bac, déjà prêt pour la descente. La vitesse moyenne prévue pour les bacs est de 12 cm/sec; une dénivellation de 40 m est donc franchie en 6 minutes environ.

Quando l'intensité du trafic sur la voie navigable est la même dans les deux sens, il est avantageux d'adopter pour l'écluse une exploitation à sens unique, c'est-à-dire de réserver l'un des bacs aux transports à la descente, l'autre à la montée, en intercalant chaque fois une course à vide. Une double course, au cours de laquelle un convoi peut être amené à l'amont et un autre à l'aval, exige théoriquement, avec ce système d'exploitation, environ 45 minutes.

III. Comparaison de l'écluse plongeante à bacs amont avec les ascenseurs à bateaux exécutés en Allemagne à Rothensee et Niederfinow

L'écluse plongeante forme la suite naturelle de l'évolution qui, de l'écluse ordinaire avec consommation d'eau, a conduit à l'ascenseur à bateaux caractérisé par le fait qu'il travaille sans consommer une quantité appréciable d'eau. Comparativement aux ascenseurs exécutés jusqu'ici, on peut relever les avantages suivants en faveur de l'écluse plongeante:

1. Sécurité absolue d'exploitation, sans dispositifs de sécurité spéciaux tels que colonnes filetées, palées avec écrous et verrous et autres «arrêts»:

Dans les élévateurs à flotteurs et les ascenseurs verticaux, aux deux niveaux extrêmes, les bacs doivent s'appliquer contre les musoirs par l'intermédiaire de cadres d'étanchéité serrés mécaniquement et y être assujettis par des barres de verrouillage horizontales, parce qu'après l'ouverture de la porte du bac et de la porte de l'écluse, la pression agit unilatéralement sur l'autre extrémité du bac et tend à repousser celui-ci en arrière.

En position inférieure, le bac de l'écluse plongeante, au contraire, est si fortement pressé contre le cadre d'étanchéité par la poussée unilatérale qu'aucune variation du plan d'eau survenant pendant un éclusage ne peut le déplacer; il est si bien immobilisé par la pression statique que la force des treuils n'a même pas à intervenir à ce moment. Ici, la sécurité est assurée naturellement, tandis qu'ailleurs, elle doit l'être artificiellement.

En position supérieure, le bac flotte librement et peut suivre sans autre les variations éventuelles du plan d'eau. Il n'y a plus besoin, ni d'une porte amont, ni d'une liaison particulière. Les fluctuations du niveau de l'eau font varier le poids du bac et la force ascensionnelle dans le même sens, sinon de la même quantité, de sorte que les forces non équilibrées restent très faibles et ne dépassent pas celle des treuils. La crémaillère est fixée au bac, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un levier à bras inégaux, dont le grand bras est ataché à un amortisseur à ressort qui peut fonctionner dans les deux sens pour compenser un certain déséquilibre des forces; grâce à cela, on peut même utiliser le bac comme flotteur pour embrayer mécaniquement les treuils dès que le déséquilibre dépasse une certaine limite et faire monter ou descendre le bac pour rétablir l'équilibre. Un dispositif de sécurité assujettissant le bac, dans sa position supérieure, est donc non seulement superflu, mais il serait nuisible et contraire à la nature même du bac flottant.

Pendant la course du bac, à l'élévateur à flotteurs de Rothensee, les forces non équilibrées que créent inévitablement les petites variations du niveau de l'eau dans la cuve à bateaux doivent être supportées par les colonnes filetées, ce qui entraîne une augmentation des frottements, une usure rapide des vis et des écrous, et un accroissement de la consommation d'énergie. A l'ascenseur à câbles de Niederfinow, les forces non équilibrées sont absorbées par les amortisseurs à ressorts jusqu'à une certaine valeur, limitée par la tension admissible des ressortes ci cette limite est dépassée, l'ascenseur s'arrête.

Dans l'écluse plongeante, le mouvement des bacs s'effectue sous l'action de forces, de surpression et de sous-pression, créées intentionnellement et en aucun cas ces forces non équilibrées ne peuvent mettre en danger le bac ou son chargement. Ces efforts moteurs peuvent être aussi grands qu'on le veut, ils trouvent toujours leur contre-partie dans les résistances à l'écoulement de l'air et de l'eau; il s'établit sous l'effet de ces forces une vitesse uniforme

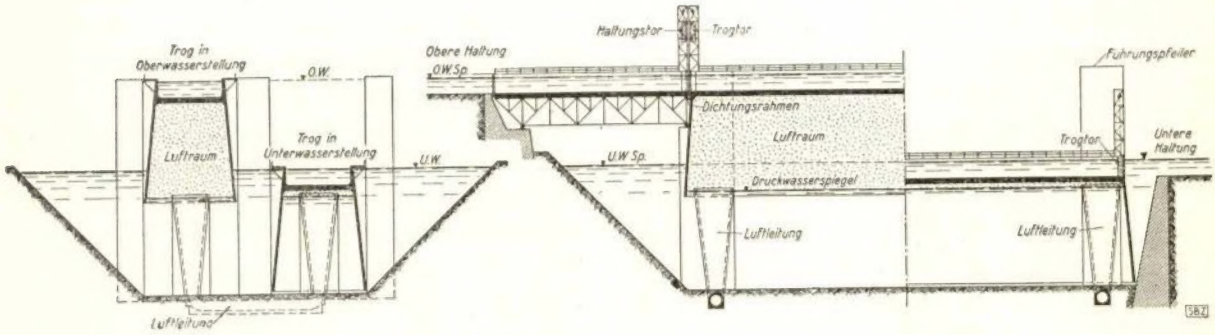


Fig. 9. Ecluse plongeante à bacs aval. Coupe transversale. Echelle 1:1200

Trog in Obserwasserstellung	= bac dans la position supérieure
Trog in Unterwasserstellung	= bac dans la position inférieure
Luftraum	= cloche à air
Luftleitung	= conduite d'air

Fig. 10. Coupe longitudinale de l'écluse fig. 9. A gauche: bac dans la position inférieure.

Obere Haltung	= bief amont
Untere Haltung	= bief aval
Haltungstor	= porte d'écluse
Trogtor	= port du bac
Dichtungsrahmen	= cadre d'étanchéité
Luftraum	= cloche à air
Druckwasserspiegei	= niveau d'eau sous pression
Luftleitung	= conduite d'air
Führungspfeiler	= piller de guidage

Figures 9 et 10 proposition de l'auteur, élaborée en collahoration avec la «Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg»